

明 細 書

光周波数コム発生器並びに光変調器

技術分野

[0001] 本発明は、光周波数コム発生器並びに光変調器に関し、光通信、光CT、光周波数標準器など多波長でコヒーレンス性の高い標準光源、又は、各波長間のコヒーレンス性も利用できる光源を必要とする分野に適用される。

本出願は、日本国において2003年11月14日に出願された日本特許出願番号2003-385449及び日本特許出願番号2003-385450を基礎として優先権を主張するものであり、これらの出願は参照することにより、本出願に援用される。

背景技術

[0002] 光周波数を高精度に測定する場合には、測定する光を他の光と干渉させ、発生する光ビート周波数の電気信号を検出するヘテロダイン検波を行う。このヘテロダイン検波において測定可能な光の帯域は、検波系に使用される受光素子の帯域に制限され、概ね数十GHz程度である。

一方、近年の光エレクトロニクス発展に伴い、周波数多重通信のための光制御や、広範囲に分布する吸収線の周波数測定を行うため、光の測定可能帯域を更に拡大する必要がある。

かかる測定可能帯域の拡大化の要請に応えるべく、従来において光周波数コム発生器(例えば、特開2003-202609号公報参照)を用いた広帯域なヘテロダイン検波系が提案されている。この光周波数コム発生器は、周波数軸上で等間隔に配置された櫛状のサイドバンドを広帯域にわたり発生させるものであり、このサイドバンドの周波数安定度は、入射光の周波数安定度とほぼ同等である。この生成したサイドバンドと被測定光をヘテロダイン検波することにより、数THzに亘る広帯域なヘテロダイン検波系を構築することが可能となる。

図1は、この従来における光周波数コム発生器3の原理的な構造を示している。

この光周波数コム発生器3は、光位相変調器31と、この光位相変調器31を介して互いに対向するように設置された反射鏡32、33を備える光共振器100が使用されて

いる。

この光共振器100は、反射鏡32を介して僅かな透過率で入射した光Linを反射鏡32、33間で共振させ、その一部の光Loutを反射鏡33を介して出射させる。光位相変調器31は、電界を印加することにより屈折率に変化する光位相変調のための電気光学結晶からなり、この光共振器100を通過する光に対して、電極36に印加される周波数 f_m の電気信号に応じて位相変調をかける。

この光周波数コム発生器3において、光が光共振器100内を往復する時間に同期した電気信号を電極36から光位相変調器31へ駆動入力することにより、光位相変調器31を1回だけ通過する場合に比べ、数十倍以上の深い位相変調をかけることが可能となる。これにより、高次のサイドバンドを数百本生成することができ、隣接したサイドバンドの周波数間隔 f_m は全て入力された電気信号の周波数 f_m と同等になる。

また、従来における光周波数コム発生器は、上述のバルク型に限定されるものではない。例えば図2に示すように、導波路を用いた導波路型光周波数コム発生器200にも適用可能である。

この導波路型光周波数コム発生器20は、導波路型光変調器200から構成される。導波路型光変調器200は、基板201と、導波路202と、電極203と、入射側反射膜204と、出射側反射膜205と、発振器206とを備える。

基板201は、例えば引き上げ法により育成された3〜4インチ径の LiNbO_3 やGaAs等の大型結晶をウェハ状に切り出したものである。

導波路202は、光を伝搬させるために配されたものであり、導波路202を構成する層の屈折率は、基板等の他層よりも高く設定されている。導波路202に入射した光は、導波路202の境界面で全反射しながら伝搬する。

電極203は、例えばAlやCu、Pt、Au等の金属材料からなり、外部から供給された周波数 f_m の電気信号を導波路202に駆動入力する。また、導波路における光の伝搬方向と変調電界の進行方向は同一となる。

入射側反射膜204及び出射側反射膜205は、導波路202に入射した光を共振させるため設けられたものであり、導波路202を通過する光を往復反射させることにより共振させる。発振器206は、電極203に接続され、周波数 f_m の電気信号を供給する

。

入射側反射膜204は、導波路型光変調器200の光入射側に配され、図示しない光源から周波数 ν_1 の光が入射される。また、この入射側反射膜204は、出射側反射膜205により反射されて、かつ導波路202を通過した光を反射する。

出射側反射膜205は、導波路型光変調器200の光出射側に配され、導波路202を通過した光を反射する。また、この出射側反射膜205は、導波路202を通過した光を一定の割合で外部に出射する。

上述の構成からなる導波路型光周波数コム発生器20において、光が導波路202内を往復する時間に同期した電気信号を電極203から導波路型光変調器200へ駆動入力とすることにより、光位相変調器を1回だけ通過する場合に比べ、数十倍以上の深い位相変調をかけることが可能となる。これにより、バルク型光周波数コム発生器と同様に、広帯域にわたるサイドバンドを有する光周波数コムを生成することができ、隣接したサイドバンドの周波数間隔は、全て入力された電気信号の周波数 f_m と同等になる。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0003] しかしながら、上記従来の導波路型光周波数コム発生器20では、その構造に基づく制約により、内部を共振する光のうち図2に示す往路方向へ伝搬する光のみしか位相変調をかけることができない。このため、往路方向へ伝搬する光に加えて復路方向へ伝搬する光について位相変調を施す場合(以下、往復変調という。)と比較して変調効率がいきおい低くなるという問題点があった。

また、往復変調と同様の変調度を得るためには、電極203から導波路202へ駆動入力する電気信号の強度を増加させなければならず、位相変調時において多大な印加電圧が必要になる。必要な電力が増加すれば、電極203を含む駆動回路にかかる負担は大きくなり、上述したヘテロダイン検波系全体の大型化やそれに基づくコスト上昇を招く。更に、この印加電圧の増大は、導波路型光周波数コム発生器20自体の故障の要因ともなり得る。

また、上記従来の導波路型光周波数コム発生器20の変調効率は、導波路202内

を伝搬する光の偏光方向に強く依存する。このため、特定の偏光方向の光のみしか変調することができないという問題点があった。

さらに、導波路202内を伝搬させる光の偏光方向を調整するために偏光保存ファイバを配設する必要があるが、労力やコストの負担が過大となるという問題点もあった。

そこで、本発明は、上述した問題点に鑑みて案出されたものであり、その目的とするところは、光共振器内を共振する光に簡単な構成で往復変調を施すことにより、位相変調に必要な電力を増加させることなく、変調効率を改善させることができる光周波数コム発生器並びに光変調器を提供することにある。

また、本発明の他の目的は、入射される光の偏光方向に支配されることなく、変調効率を改善することができる光変調器を提供することにある。

本発明に係る光周波数コム発生器は、上述した問題点を解決するために、所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、互いに平行な入射側反射鏡及び出射側反射鏡から構成され、入射側反射鏡を介して入射された光を往路方向又は復路方向へ伝搬させることにより共振させる共振手段と、上記入射側反射鏡と上記出射側反射鏡との間に配され、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記共振手段において共振された光の位相を変調し、上記入射された光の周波数を中心としたサイドバンドを上記変調信号の周波数の間隔で生成する光変調手段とを備え、上記光変調手段は、上記往路方向又は復路方向へ伝搬する各光の位相を変調する。

また、本発明に係る光変調器は、上述した問題点を解決するために、入射すべき光を偏光方向に応じて分離する分離手段と、上記分離された各光の偏光方向を揃える偏光制御手段と、所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、互いに平行な反射鏡から構成され、上記偏光制御手段から互いに異なる角度で何れか一の反射鏡を介して入射された光を往路方向又は復路方向へ伝搬させることにより共振させる共振手段と、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記共振手段において共振された光の位相を変調する光変調手段とを備える。

このような構成の光周波数コム発生器並びに光変調器では、導波路を往路方向へ伝搬する光のみならず、復路方向へ伝搬する光についても位相変調を施すことがで

きるため変調効率を増加させることができる。

また、本発明に係る光変調器は、上述した問題点を解決するために、入射すべき光を偏光方向に応じて分離する分離手段と、上記分離された各光の偏光方向を同一方向へ制御する偏光制御手段と、所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、何れか一の端面を介して入射された光を往路方向又は復路方向へ伝搬させる光伝搬手段と、上記端面間に配され、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記伝搬する光の位相を変調する光変調手段とを備え、上記光変調手段は、上記往路方向又は復路方向へ伝搬する各光を変調する。

さらに、本発明を適用した光変調器は、上述した問題点を解決するために、入射すべき光を偏光方向に応じて分離する分離手段と、上記分離された各光の偏光方向を同一方向へ制御する偏光制御手段と、所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、互いに平行な反射鏡から構成され、上記偏光制御手段から互いに異なる角度で何れか一の反射鏡を介して入射された光を往路方向又は復路方向へ伝搬させることにより共振させる共振手段と、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記共振手段において共振された光の位相を変調する光変調手段とを備える。

このような構成の光変調器では、仮に光伝搬手段を構成する材料の屈折率や変調効率がある特定の偏光方向に強く依存する場合に、当該偏光方向に応じて光分離手段において分離された各光の偏光方向を同一方向に制御することができる。これにより、供給される光がいかなる偏光成分を有する場合であっても、これに依存することなく高効率な位相変調を実現させることができる。

本発明の更に他の目的、本発明によって得られる具体的な利点は、以下に説明される実施の形態の説明から一層明らかにされる。

図面の簡単な説明

- [0004] [図1]図1は、従来における光周波数コム発生器の原理的な構造を示す図である。
- [図2]図2は、従来における導波路型光周波数コム発生器の原理的な構造を示す図である。
- [図3]図3は、本発明を適用した光周波数コム発生器の構成を示す図である。
- [図4]図4は、本発明を適用した光周波数コム発生器における電極の構成について

説明するための図である。

[図5]図5は、L字状の電極を有する光周波数コム発生器の構成について説明するための図である。

[図6]図6は、光が入射する端面によらず、伝搬する光の位相を効率よく変調することが可能な光周波数コム発生器について説明するための図である。

[図7]図7は、互いに異なる変調信号を1台の光変調器で変調することにより光コムを発生させる光周波数コム発生器の構成図である。

[図8]図8は、偏波無依存の変調システムについて説明するための図である。

[図9]図9は、上記変調システムにおける光周波数コム発生器の構成図である。

[図10]図10は、リング型電気光学変調器の構成を示す図である。

[図11]図11は、リング型電気光学変調器の他の構成を示す図である。

[図12]図12は、リング型電気光学変調器の斜視図である。

[図13]図13は、リング型電気光学変調器の他の構成を示す図である。

[図14]図14は、レーザ光の入力、出力を異なる光経路を介して実現するリング型電気光学変調器の構成を示す図である。

[図15]図15(a), (b)は、共振器内部に複屈折素子を設けたリング型電気光学変調器を示す図である。

[図16]図16(a), (b)は、光共振器内部に1/4波長板を設置したリング型電気光学変調器の構成を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0005] 以下、本発明を実施するための最良の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

図3は、本発明を適用した光周波数コム発生器1の構成を示す図である。この光周波数コム発生器1は、導波路型光変調器2から構成される。導波路型光変調器2は、基板11と、基板11上に形成されてなり伝搬する光の位相を変調する導波路12と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように導波路12の上面に設けられた電極13と、導波路12を介して互いに対向するように設置された入射側反射膜14並びに出射側反射膜15と、電極13の一端側に配設され、周波数 f_m の変調信

号を発振する発振器16と、電極13の他端側に配設されてなる移相器18、反射器19とを備えている。

基板11は、例えば引き上げ法により育成された3〜4インチ径の LiNbO_3 やGaAs等の大型結晶をウェハ状に切り出したものである。

導波路12は、光を伝搬させるために配されたものであり、導波路12を構成する層の屈折率は、基板等の他層よりも高く設定されている。導波路12に入射した光は、導波路12の境界面で全反射しながら伝搬する。この導波路12は、屈折率が電界に比例して変化するポッケルス効果や、屈折率が電界の自乗に比例して変化するカー効果等の物理現象を利用し、通過する光の変調を行う。

電極13は、例えばTiやPt、Au等の金属材料からなり、外部から供給された周波数 f_m の変調信号を導波路12に駆動入力する。この電極13に対して、発振器16から供給される周波数 f_m の変調信号により、導波路12内を伝搬する光に位相変調がかけられる。

入射側反射膜14並びに出射側反射膜15は、導波路12に入射した光を図3に示す往路方向又は復路方向へ伝搬させることにより共振させる。入射側反射膜14は、導波路12の光入射側に配され、この外部から供給される光がこの入射側反射膜14を介して入射される。出射側反射膜15は、導波路12の光出射側に配され、導波路12内部を伝搬した一部の光を外部へ出射させる。

反射器19は、発振器16より発振された変調信号を反射させる。また、移相器18は、反射された変調信号の位相を調整する。

次に本発明を適用した光周波数コム発生器1における電極13の構成について更に詳細に説明する。

図4は、電極13の上面図である。この図4に示すように、電極13は、発振器16が設けられた一端側から、移相器18、反射器19が設けられている他端側に至るまでコ字状の形状で構成されている。この電極13を高周波の変調信号のいわゆる伝送路として考えたとき、角部分13a、13bにおいていわゆる直角曲がり部が存在すると、変調信号の波長依存性により伝送特性が著しく悪化してしまう。このため、直角曲がり部が生じないように、角部分13a、13bを丸めるようにしてもよい。

このような形状からなる電極13に対して発振器16より発振された周波数 f_m の変調信号を供給すると、当該変調信号は、電極13を往路方向へ伝搬することになり、導波路12内を往路方向へ伝搬する光の位相を変調させることができる。電極13上を往路方向へ伝搬した変調信号は、そのまま反射器19を反射し、移相器18により位相調整された上で、今度は電極13を復路方向へ伝搬することになる。これにより、導波路12内を復路方向へ伝搬する光を位相変調することができる。ちなみに、この移相器18により調整される位相は、導波路12内を復路方向へ伝搬する光に施される位相変調が、往路方向へ伝搬する光に対する移相変調と同様になるようにしてもよい。

即ち、本発明を適用した光周波数コム発生器1では、導波路12を往路方向へ伝搬する光のみならず、復路方向へ伝搬する光についても位相変調を施すことができるため変調効率を増加させることができる。

また、上述の構成からなる光周波数コム発生器1において、光が導波路12内を往復する時間に同期した電気信号を電極13から駆動入力とすることにより、導波路12を1回だけ通過する場合に比べ、数十倍以上の深い位相変調をかけることが可能となる。これにより、広帯域にわたるサイドバンドを有する光周波数コムを生成することができ、隣接したサイドバンドの周波数間隔は、全て入力された電気信号の周波数 f_m と同等になる。

また、この光周波数コム発生器1は、光を狭小な導波路12に押し込めて変調させることができるため、変調指数を大きくすることができ、バルク型の光周波数コム発生器と比較して発生するサイドバンド数やサイドバンドの光量を多くすることができる。

なお、本発明を適用した光周波数コム発生器1における移相器18では、反射器19より反射される変調信号の位相を以下に説明するように調整してもよい。

図4に示すように、電極13における角部分13aから出射側反射膜15までの長さを Δl とし、また、導波路12における群屈折率を n_g とすると、光が角部分13aから導波路12に沿って伝搬して出射側反射膜15を反射し、再び角部分13aへ戻ってくるまでの時間 t は、以下の式1で表される。

$$t = 2n_g \Delta l / c \quad (c: \text{光速}) \quad \dots \text{式1}$$

ここで、変調周波数を ω_m とすると、以下の式2

$$\omega m t + \theta = 2m\pi \quad (m=0, 1, 2, \dots) \quad \dots \text{式2}$$

を満たすように移相器18を調整することにより、 θ を変化させると、復路方向へ伝搬する変調信号の位相が、導波路12内を復路方向へ伝搬する光の位相と一致することになる。即ち、この移相器18は、変調信号の位相を、以下の式3を満たすように調整する。

$$\theta = 2m\pi - 2ng_0 k_0 \Delta l \quad (\text{但し } k_0 = \omega m / c) \quad \dots \text{式3}$$

このように、移相器18により調整される変調信号の位相を電極13の形状、変調信号の周波数 f_m 、並びに導波路12の群屈折率 ng に応じて調整することにより、これを光の位相に高精度に合わせ込むことができる。

このため、光周波数コム発生器1では、導波路12を往路方向へ伝搬する光のみならず、復路方向へ伝搬する光についても高効率に位相変調を施すことができるため変調効率を最大2倍近くまで増加させることができる。また、電極13へ印加する電圧を上げることなく、変調効率を効果的に向上させることができるため、消費電力を削減でき、光周波数コム発生器1を配設するヘテロダイン検波系自体をスリムにすることができ、コストを大幅に削減することができる。

なお、本発明を適用した光周波数コム発生器1は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、以下の図5に示すL字状の電極を有する光周波数コム発生器7に適用してもよい。この光周波数コム発生器7において、光周波数コム発生器1と同一の構成については、同一番号を付して説明を省略する。

この光周波数コム発生器7は、図5の上面図に示すように、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように導波路12の上面に設けられた電極73と、導波路12を介して互いに対向するように設置された入射側反射膜14並びに出射側反射膜15と、電極73の一端側に配設され、周波数 f_m の変調信号を発振する発振器16とを備えている。

電極73は、他端から供給された変調信号を反射させるための切断点73aが設けられている。なお、他端から供給された変調信号を反射させるための切断点73aに代えて短絡点を電極73に設けるようにしても、他端から供給された変調信号を反射させることができる。

このような形状からなる電極73に対して発振器16より発振された周波数 f_m の変調信号を供給すると、当該変調信号は、電極73上を往路方向へ伝搬することになり、導波路12内を往路方向へ伝搬する光の位相を変調させることができる。この電極73上を往路方向へ伝搬した変調信号は、切断点73aを反射して今度は復路方向へ伝搬することになる。これにより導波路12内を復路方向へ伝搬する光の位相を変調することができ、光周波数コム発生器1と同様に変調効率を向上させることができる。特に、この光周波数コム発生器7では、移相器や反射器19を配設する必要がないことから、変調信号の損失を抑えることができる点において有利である。

ちなみに、この切断点73aの位置は、以下に説明するように調整されていてもよい。

図5に示すように、電極73における切断点73aから出射側反射膜15までの長さを Δl_2 とし、また、導波路12における群屈折率を n_g とすると、光が切断点73aから導波路12に沿って伝搬して出射側反射膜15を反射し、再び角部分73aへ戻ってくるまでの時間 t_2 は、以下の式4で表される。

$$t_2 = 2n_g \Delta l_2 / c \quad (c: \text{光速}) \quad \cdots \text{式4}$$

ここで、変調周波数を ω_m とすると、以下の式5A

$$\omega_m t_2 = 2m\pi \quad (m=0, 1, 2, \cdots) \quad \cdots \text{式5A}$$

を満たすとき、復路方向へ伝搬する光は、往路方向と同じ位相で変調されることになる。

この場合、変調周波数 $\omega_m = 2\pi f_m$ とすると、長さを Δl_2 は、以下の式6Aを満たすように調整される。

$$\Delta l_2 = m\pi / n_g k_0 \quad (\text{但し、} k_0 = \omega_m / c) \quad \cdots \text{式6A}$$

なお、他端から供給された変調信号を反射させるために、切断点73aに代えて短絡点を電極73に設けるようにした場合には、変調周波数を ω_m とすると、以下の式5B

$$\omega_m t_2 = (2m+1)\pi \quad (m=0, 1, 2, \cdots) \quad \cdots \text{式5B}$$

を満たすとき、復路方向へ伝搬する光は、往路方向と同じ位相で変調されることになる。

この場合、変調周波数 $\omega_m = 2\pi f_m$ とすると、長さを Δl_2 は、以下の式6Bを満た

すように調整される。

$$\Delta l_2 = (2m+1) \pi / 2n g k_0 \quad (\text{但し、} k_0 = \omega m / c) \quad \cdots \text{式6B}$$

このように電極73における切断点73aを変調信号の周波数並びに導波路12の群屈折率に応じて調整することにより、高効率な位相変調を施すことが可能となる。

また、本発明は、図6に示すように、光変調器8に適用してもよい。この光変調器8は、何れの端面84, 85を介して光が入射されてもよく、入射された各光は、上述の如くそれぞれ変調されつつ導波路12内を往路方向又は復路方向へ伝搬し、対向する端面85, 84を介して外部へ出射する。このため、この光変調器8は、光が入射する端面によらず、伝搬する光の位相のみならず、強度、偏波等についても効率よく変調することが可能となる。

なお、この光変調器8は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、L字状の電極を有する光周波数コム発生器7の構成をそのまま光変調器として適用してもよい。

また、本発明を適用した光周波数コム発生器1は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、例えば図7に示すように、互いに異なる変調信号を1台の光変調器で変調することにより光コムを発生させる光周波数コム発生器400に対しても適用可能である。

この光周波数コム発生器400は、導波路型光変調器402から構成される。導波路型光変調器402は、基板411と、基板411上に形成されてなり伝搬する光の位相を変調する導波路412と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように導波路412の上面に設けられた電極413と、導波路412を介して互いに対向するように設置された入射側反射膜414並びに出射側反射膜415と、電極413の一端側に配設され、周波数 f_{m1} の変調信号が供給される第1のサーキュレータ416と、周波数 f_{m2} の変調信号が供給される第2のサーキュレータ417と、第1のサーキュレータ416に接続される第1の無反射終端器418と、第2のサーキュレータ417に接続される第2の無反射終端器419とを備えている。

基板411、導波路412、電極413の構成は、基板11、導波路12、電極13と同一の構成であるため、これらの説明を引用することにより説明を省略する。

入射側反射膜414並びに出射側反射膜415は、上記入射側反射膜14並びに出射側反射膜15と同一の構成としてもよいが、低反射率の反射膜等が形成された端面で構成してもよい。この入射側反射膜414並びに出射側反射膜415は、高反射膜が形成されていない結晶端面として適用してもよく、さらに、結晶端面の反射率を低減させるべく無反射コートを施すようにしてもよい。即ち、入射側反射膜414並びに出射側反射膜415を高反射率の膜として構成されていることは条件とならない。

第1のサーキュレータ416に供給される周波数 f_{m_1} の変調信号は、該第1のサーキュレータ416を直進した後、そのまま電極413上を復路方向へ伝搬し、第2のサーキュレータ417により伝搬方向が変更された上で第2の無反射終端器419に吸収される。また、第2のサーキュレータ417に供給される周波数 f_{m_2} の変調信号は、該第2のサーキュレータ417を直進し、そのまま電極413上を往路方向へ伝搬し、第1のサーキュレータ416により伝搬方向が変更された上で第1の無反射終端器418に吸収される。

即ち、この光周波数コム発生器400における電極413では、周波数 f_{m_1} の変調信号を復路方向のみに伝搬させ、また、周波数 f_{m_2} の変調信号を往路方向のみに伝搬させることができる。これは、電極413と平行となるように配設された導波路402を伝搬する光につき、復路方向のみに伝搬する光を周波数 f_{m_1} により、また、往路方向のみに伝搬する光を周波数 f_{m_2} により変調することができ、ひいては光コムを効率よく生成することができる。

なお、第1及び第2のサーキュレータ416、417に供給する変調信号の周波数 f_{m_1} と周波数 f_{m_2} は同じ周波数であってもよく、また、これら変調信号の信号源は別々に設ける必要はなく、例えば1台の信号源からの変調信号を分離することにより生成するようにしてもよい。

ちなみに、本実施例では、光コムを生成する光周波数コム発生器400を例に挙げて説明をしたが、かかる場合に限定されるものではなく、導波路412内を伝搬する光の変調のみを行う導波路型光変調器402として適用するようにしてもよいことは勿論である。

また、本発明は、以下に示される偏波無依存の変調システム9に適用される。

この変調システム9は、図8に示すように、光変調器8と、光変調器8に対して供給する光を各偏光成分に分離する第1の偏波分離合成カプラ91と、第1の偏波分離合成カプラ91により分離された一の偏光成分につき偏光方向を回転制御する第1の偏波コントローラ93と、光変調器8から出射された一の偏光成分につき偏光方向を回転制御する第2の偏波コントローラ94と、第2の偏波コントローラ94並びに光変調器8から出射された各偏光成分の光を合波して外部へ出力する第2の偏波分離合成カプラ92とを備えている。

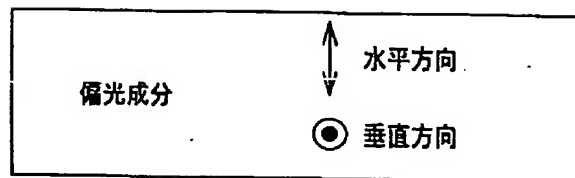
第1の偏波分離合成カプラ91は、外部から供給された光から、水平方向の直線偏光と、垂直方向の直線偏光とを分離する。この分離された水平方向の直線偏光成分を含む光は、第1の偏波コントローラ93へ供給され、垂直方向の直線偏光成分を含む光は、そのまま光変調器8へ供給されることになる。

第1の偏波コントローラ93は、光の偏光成分を水平方向から垂直方向へ回転させ、これを光変調器8へ供給する。これにより、伝搬する光の偏光方向を同一にすることができる。このため、仮に導波路12を構成する材料の屈折率や変調効率がある特定の偏光方向に強く依存する場合に、当該偏光方向に応じて、各光の偏光方向を同一方向に制御することができる。

第2の偏波コントローラ94は、光変調器8から出射された光の偏光成分を垂直方向から水平方向へ回転させ、これを第2の偏波分離合成カプラ92へ供給する。第2の偏波分離合成カプラ92において、この水平方向の偏光成分を含む光は、光変調器8の他端側から出射された垂直方向の偏光成分を含む光と合波され、外部へ出射されることになる。

ここで、図8において、各偏光成分は、次の表1に示す記号にて各偏光方向が示されている。

[表1]



光変調器8は、図8及び図9に示すように、基板11と、基板11上に形成されてなり伝搬する光の位相を変調する導波路12と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように導波路12の上面に設けられた電極83と、導波路12を介して互いに対向するように設置された第1の端面84並びに第2の端面85と、電極83の一端側に配設され、周波数 f_m の変調信号を発振する発振器16と、電極83の他端側に配設されてなる移相器18、反射器19とを備えている。

基板11は、例えば引き上げ法により育成された3〜4インチ径の LiNbO_3 やGaAs等の大型結晶をウェハ状に切り出したものである。

導波路12は、光を伝搬させるために配されたものであり、導波路12を構成する層の屈折率は、基板等の他層よりも高く設定されている。導波路12に入射した光は、導波路12の境界面で全反射しながら伝搬する。この導波路12は、屈折率が電界に比例して変化するポッケルス効果や、屈折率が電界の自乗に比例して変化するカー効果等の物理現象を利用し、通過する光の変調を行う。

電極83は、例えばTiやPt、Au等の金属材料からなり、外部から供給された周波数 f_m の変調信号を導波路12に駆動入力する。この電極83に対して、発振器16から供給される周波数 f_m の変調信号により、導波路12内を伝搬する光に位相変調がかけられる。

第1の端面84並びに第2の端面85は、導波路12に入射した光を図9に示す往路方向又は復路方向へ伝搬させることにより共振させる。

反射器19は、発振器16より発振された変調信号を反射させる。また、移相器18は、反射された変調信号の位相を調整する。

第1の端面84を介して入射された光は、導波路12を復路方向へ伝搬して第2の端面85を介して出射される。また、第2の端面84を介して入射された光は、導波路12

を往路方向へ伝搬して第2の端面85を介して出射される。即ち、この光変調器8は、何れの端面84, 85を介して光が入射されてもよく、入射された各光は、上述の如くそれぞれ変調されつつ導波路12内を往路方向又は復路方向へ伝搬し、対向する端面84, 85を介して外部へ出射する。このため、この光変調器8は、光が入射する端面に支配されることなく、伝搬する光を効率よく変調することが可能となる。

ちなみに、上述した例では、光の位相を変調する場合を例にとり説明をしたが、かかる場合に限定されるものではなく、あらゆる電気光学効果を利用して、光の強度、偏波等を変調するようにしてもよい。また、本発明はマッハツェンダー型の光変調器等に対しても適用可能である。

また、この光変調器8は、以下に説明するリング型電気光学変調器に応用することもできる。

このリング型電気光学変調器80は図10に示すように、光位相変調器111と、この光位相変調器111を介して互いに対向するように設置された第1のミラー112及び第2のミラー113からなる光共振器110と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように光位相変調器111の上面と底面に形成された電極115と、上述した各構成要素が組み込まれる温度補償筐体116とを備えている。また、この第1のミラー112に対してそれぞれ入出射するための光を伝搬させる光ファイバからなる第1の光路121並びに第2の光路122と、第1の光路121の終端に配設された第1のコリメータ131と、第2の光路122の終端に配設された第2のコリメータ132と、第1の光路121並びに第2の光路122に対してそれぞれ連結されてなる偏波分離合成カップラ141とを備えている。

光位相変調器111は、供給される電気信号に基づき通過する光を位相変調する光デバイスである。光位相変調器111は、導波路12と同一の材質として構成してもよい。ちなみに、この光位相変調器111における各側面は、入射された光を全反射するように反射率が制御される。このため、図10に示すように、第1のミラー112を介して斜め方向から入射された光は、それぞれ光位相変調器111の側面により全反射され、また、第2のミラー113により反射されるため、あたかも光位相変調器111内でリングを描くような経路をとる。

第1のミラー112及び第2のミラー113は、光共振器110に入射した光を共振させるため設けられたものであり、光位相変調器111を通過する光を往復反射させることにより共振させる。

第1のミラー112は、光位相変調器111の光入射側に配され、第1のコリメータ131或いは第2のコリメータ132から光が入射される。また、この第2のミラー113を反射して光位相変調器111を通過した一部の光を反射し、また、一部の光を外部へ出射する。

電極115は、無線信号を送受信するためのアンテナ4が接続されている。この電極115に対して、外部から供給される周波数 f_m の無線信号により、光位相変調器111内を伝搬する光に位相変調がかけられる。

偏波分離合成カップラ141は、光ファイバ通信網440から伝送された光から、水平方向の直線偏光と、垂直方向の直線偏光とを分離し、或いはこれらを合成する。この分離された水平方向の直線偏光成分を含む光は第1の光路121を伝搬し、また、垂直方向の直線偏光成分を含む光は、第2の光路122を伝搬する。

第1の光路121は、光ファイバを回転させて設置することにより、光の偏光成分を水平方向から垂直方向へ回転させる。これにより、第1の光路121を伝搬する光と、第2の光路122を伝搬する光の偏光方向を同一にすることができる。なお、第2の光路122においても偏光方向を回転できる機能を備えるようにしてもよい。

第1のコリメータ131並びに第2のコリメータ132は、それぞれ第1の光路121、第2の光路122を伝搬した光を平行光にして、これを光共振器110を構成する第1のミラー112へ出射する。




このようなリング型電気光学変調器80では、光ファイバ通信網440から伝搬されてくる光が先ず偏波分離合成カップラ141に入射される。この入射された光は、様々な偏光成分を含む場合であっても、それぞれ各直線偏光の方向に応じて分離されて第1の光路121、第2の光路122を伝搬することになる。この分離された光は、それぞれ偏光方向を回転制御された後で第1のコリメータ131、第2のコリメータ132を介して平行光として出射される。この出射された各光は、それぞれA方向、B方向から第1のミラー112を通過してそのまま光位相変調器111の側面により全反射されつつ伝搬

することになる。そして第2のミラー113を反射した各光は再び第1のミラー112へ戻り、一部は反射し、また、一部は第1のミラー112を介して外部へ出射されることになる。

即ち、A方向から入射された光は、図10に示すように左回りにリングを描くように光位相変調器111内を伝搬し、第1のミラー112を介してB方向へ出射される。そしてこのB方向から出射された光は、第2のコリメータ132を介して第2の光路を伝搬し、偏波分離合成カップラ141へ戻る。同様に、B方向から入射された光は右回りにリングを描くように伝搬し、第1のミラー112を介してA方向へ出射される。そして、このA方向から出射された光は、第2のコリメータ132を介して第2の光路を伝搬し、偏波分離合成カップラ141へ戻る。ちなみに、偏波分離合成カップラ141へ戻った各光は、互いに合成されて再び光ファイバ通信網440へ送信されることになる。

ここで、図10には、次の表2に示す記号にて各偏光方向の偏光成分が示されている。

[表2]

偏光の説明		
任意の偏光	垂直方向の直線偏光	水平方向の直線偏光
		

このようなリング型電気光学変調器80では、仮に光位相変調器111を構成する材料の屈折率や変調効率がある特定の偏光方向に強く依存する場合に、当該偏光方向に応じて、偏波分離合成カップラ141において分離された各光の偏光方向を同一方向に制御することができる。これにより、供給される光がいかなる偏光成分を有する場合であっても、これに依存することなく高効率な位相変調を実現させることができる。

また、光ファイバ通信網440に配設される光ファイバが偏光保存ファイバでなくても、これを偏光方向を制御しつつ高効率な位相変調を施すことができる。このため、各

基地局12へ搭載する光変調器81として、このリング型電気光学変調器80を用いることにより、システム全体の汎用性を高めることも可能となる。

なお、このリング型電気光学変調器80の温度補償筐体116の材質や構造を、光位相変調器111を構成する結晶の熱膨張率や熱屈折率の変化を補償できるようにしてもよい。これにより、基地局12が設置される温度環境等を除去した高精度な変調を実現することができる。

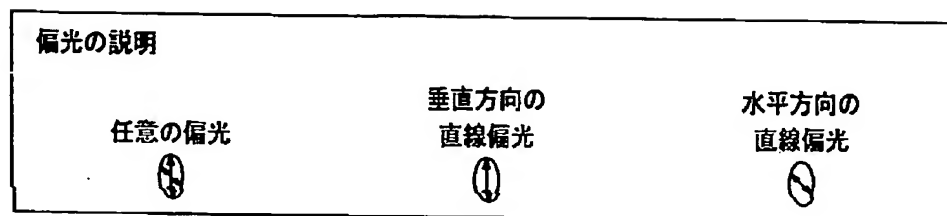
また、この光変調器8は、以下に説明するリング型電気光学変調器89にも応用することもできる。

このリング型電気光学変調器89は、図11に示すように、光位相変調器111と、この光位相変調器111を介して互いに対向するように設置された第1のミラー112及び第2のミラー113からなる光共振器110と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように光位相変調器111の上面と底面に形成された電極115と、上述した各構成要素が組み込まれる温度補償筐体116とを備えている。また、リング型電気光学変調器89は、この第1のミラー112に対してそれぞれ入射するための光を伝搬させる光ファイバからなる第1の光路121並びに第2の光路122と、第1の光路121の終端に配設された第1のコリメータ131と、第2の光路122の終端に配設された第2のコリメータ132と、第1の光路121並びに第2の光路122に対してそれぞれ連結されてなる偏波分離合成カプラ141とを備えている。また、リング型電気光学変調器89は、この第2のミラー113からそれぞれ出射される光を伝搬させる光ファイバからなる第3の光路123並びに第4の光路124と、第3の光路123の終端に配設された第3のコリメータ133と、第4の光路124の終端に配設された第4のコリメータ134と、第3の光路123並びに第4の光路124に対してそれぞれ連結されてなる偏波分離合成カプラ142とを備えている。

なお、この図11に示すリング型電気光学変調器89においてリング型電気光学変調器80と同一の構成については、同一の番号を付することにより説明を省略する。

また、図11には、次の表3に示す記号にて各偏光方向の偏光成分が示されている。

[表3]



偏波分離合成カップラ142は、第3の光路123、第4の光路124を伝搬する光を合成する。

第3の光路123は、光ファイバを回転させて設置することにより、光の偏光成分を水平方向から垂直方向へ回転させる。これにより、第3の光路123を伝搬する光と、第4の光路124を伝搬する光の偏光方向を直交させることができる。なお、第4の光路124においても偏光方向を回転できる機能を備えるようにしてもよい。さらに、第1の光路121、第2の光路122においては、必要に応じてアイソレータを挿入するようにしてもよい。

第3のコリメータ133並びに第4のコリメータ134は、第2のミラー113から出射される光を、それぞれ第3の光路123、第4の光路124を構成する光ファイバへ結合させる。

図12は、このリング型電気光学変調器89の斜視図である。第1のミラー112並びに第2のミラー113は、この図12に示すように、光位相変調器111の端面に直接取り付けられる場合のみならず、外付けの鏡を利用するようにしてもよい。また、この光位相変調器111を構成する結晶側面は、全反射面となっており、上下に設けられた電極115により周回する光を変調することになる。なお、第1のコリメータ131と第3のコリメータ133、又は第2のコリメータ132と第4のコリメータ134のうち何れかを撤去すると通常の光周波数コム発生器として動作することになる。

ちなみに、このリング型電気光学変調器89では、上述した図10、図11の如く光位相変調器111の上下に設けられた電極115が設けられている側面をリングを描くように反射させる場合に限定されるものではなく、図12に示すように水平方向から互いに異なる角度で入射された光につき、横方向の側面をリングを描くように反射させるよう

にしてもよい。リング型電気光学変調器89を実際の通信デバイスとして適用する場合には、むしろこの図12に示す形態の方が一般的であり、実用性の観点において優れているといえる。

このようなリング型電気光学変調器89では、光ファイバ通信網440から伝搬されてくる光が先ず偏波分離合成カプラ141に入射される。この入射された光は、様々な偏光成分を含む場合であっても、それぞれ各直線偏光の方向に応じて分離されて第1の光路121、第2の光路122を伝搬することになる。この分離された光は、それぞれ偏光方向を回転制御された後で第1のコリメータ131、第2のコリメータ132を介して平行光として出射される。この出射された各光は、それぞれA方向、B方向から第1のミラー112を通過してそのまま光位相変調器111の側面により全反射されつつ伝搬することになる。そして第2のミラー113を出射した光は、第3のコリメータ133並びに第4のコリメータ134を経て、それぞれ第3の光路123、第4の光路124へ出射される。第3の光路123を伝搬する光は、偏光方向が調整された上で、偏波分離合成カプラ142へ到達する。ちなみに、偏波分離合成カプラ141へ戻った各光は、互いに合成されて再び光ファイバ通信網440へ送信されることになる。

ちなみに、本発明を適用したリング型電気光学変調器80は上述した実施の形態に限定されるものではなく、例えば、複屈折素子と用いて各偏波成分を分離する図13に示すリング型電気光学変調器90に適用してもよい。なお、この図13に示すリング型電気光学変調器90においてリング型電気光学変調器80と同一の構成については、同一の符号を付して説明を省略する。

このリング型電気光学変調器90は、光位相変調器111と、この光位相変調器111を介して互いに対向するように設置された第1のミラー212及び第2のミラー213からなる光共振器210と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように光位相変調器111の上面と底面に形成された電極115とを備えている。また、リング型電気光学変調器90は、光ファイバ通信網440からの光を平行光にするコリメータレンズ231と、コリメータレンズ231から出射された光を各偏光成分に応じて分離する複屈折素子241と、複屈折素子241において分離された一の偏光成分を有する光の光路(以下、第1の光路221という。)上に配設された1/2波長板232と、上記第1

の光路221並びに複屈折素子241において分離された他の一の偏光成分を有する光の光路(以下、第2の光路222という。)上に設けられた平凸レンズ233とを備えている。

第1のミラー212及び第2のミラー213は、光共振器210に入射した光を共振させるため設けられたものであり、光位相変調器111を通過する光を往復反射させることにより共振させる。

第1のミラー212は、光位相変調器111の光入射側に配され、平凸レンズ233から光が入射される。また、第2のミラー213は、平凸レンズ233により集束光とされた光を再び平行光とすべく、いわゆる凹面鏡として構成される。

複屈折素子241は、偏光方向によって屈折率が変化する複屈折を利用して、コリメータレンズ231により平行光とされた光から、水平方向の直線偏光と垂直方向の直線偏光とを分離する。この分離された水平方向の直線偏光成分を含む光は第1の光路221を伝搬し、また、垂直方向の直線偏光成分を含む光は、第2の光路222を伝搬する。

1/2波長板232は、高速軸が光の偏光方向から45° 傾いた状態となるように、第1の光路221上に配設される。これにより、光の偏光成分を水平方向から垂直方向へ回転させることができ、第1の光路221を伝搬する光と、第2の光路222を伝搬する光の偏光方向を同一にすることができる。なお、第2の光路222においても偏光方向を回転できる機能を備えるようにしてもよい。




このようなリング型電気光学変調器90では、光ファイバ通信網440から伝搬されてくる光がコリメータレンズ231を介して複屈折素子241に入射される。この入射された光は、様々な偏光成分を含む場合であっても、それぞれ各直線偏光の方向に応じて第1の光路221、第2の光路222に分離される。このうち第1の光路221へ分離された光は、1/2波長板232を通過することにより、偏光方向を回転制御され、第2の光路222を伝搬する光とともに、平凸レンズ233により集束光とされ、互いに異なる方向(A方向、B方向)から光位相変調器111へ入射されることになる。

A方向から入射された光は、図13に示すように右回りにリングを描くように光位相変調器111内を伝搬し、第1のミラー212を介してB方向へ出射され、平凸レンズ233を

通過した上で複屈折素子241へ戻る。同様にB方向から入射された光は、左回りにリングを描くように伝搬し、第1のミラー212を介してA方向へ出射され、さらに、 $1/2$ 波長板232を介して複屈折素子241へ戻る。

ここで、図13には、次の表4に示す記号にて各偏光方向の偏光成分が示されている。

[表4]

偏光の説明		
任意の偏光	垂直方向の直線偏光	水平方向の直線偏光
		

このようなリング型電気光学変調器90においても、光ファイバ通信網440を伝搬してきた光がいかなる偏光成分を有する場合であっても、これに依存することなく高効率な位相変調を実現させることができる。

なお、このリング型電気光学変調器90においても上述の如き温度補償筐体116に各構成要素を組み込むようにしてもよい。

また、本発明を適用したリング型電気光学変調器80では、さらに、図14に示す構成に光位相変調器111を配設するようにしてもよい。

この図14に示す構成では、第1の光路121から光共振器110並びに光位相変調器111を経て、第2の光路122へと連結する、いわゆるループ状の構成とされている。これにより、第1の光路121における終端近傍に上記第1のミラー112が、また、第2の光路122における終端近傍に上記第2のミラー113が配設される構成となる。




偏波分離合成カップラ141において分離された水平方向の直線偏光成分を含む光は第1の光路121を伝搬し、第1のミラー112を介して光位相変調器111へ入射されて変調された後、第2の光路122を経て偏光保存カップラ141へ戻ることになる。偏波分離合成カップラ141において分離された垂直方向の直線偏光成分を含む光は第2の光路122を伝搬し、第2のミラー113を介して光位相変調器111へ入射されて変調された後、第1の光路121を経て、偏光保存カップラ141へ戻ることになる。ちなみに、

第1の光路121及び第2の光路122から偏光保存カプラ141へ戻ってきた光間において同期をとりつつ合波すべく、第1の経路121と第2の経路122の距離は同一とする。

即ち、この図14に示す構成においては、光位相変調器111への光の入力、出力を異なる光経路121, 122を介して実現することができる。また、この構成では、光の入出力を光経路121, 122間において入れ換えても、同様な位相変調を施すことが可能となる。

ここで、図14には、次の表5に示す記号にて各偏光方向の偏光成分が示されている。

[表5]

偏光の説明		
任意の偏光	垂直方向の直線偏光	水平方向の直線偏光
		

また、本発明を適用したリング型電気光学変調器80は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、例えば図15(a), (b)に示すような共振器内部にファラデーローテータを設けたリング型電気光学変調器10を適用してもよい。このリング型電気光学変調器10において、上述したリング型電気光学変調器80と同一の構成要素、部材については、同一の番号を付して説明を省略する。

このリング型電気光学変調器10は、光位相変調器111と、この光位相変調器111を介して互いに対向するように設置された第1のミラー112及び第2のミラー113からなる光共振器110と、変調電界の方向が光の伝搬方向に対して略垂直になるように光位相変調器111の上面と底面に形成された図示しない電極とを備えている。また、リング型電気光学変調器10は、第1のミラー112と光位相変調器111との間に配された45° 偏光回転の第1のファラデーローテータ321と、第2のミラー113と光位相変調器111との間に配された第2のファラデーローテータ322を備えている。

第1のミラー112は、任意の偏光成分が入射される。第1のミラー112は、この入射

された光の一部を反射し、また、一部を通過させる。

第1のファラデーローテータ321は、第1のミラー112を通過した光の偏光方向を -45° 回転させてこれを光位相変調器111へ出射させる。また、この第1のファラデーローテータ321は、光位相変調器111からの光の偏光方向を更に -45° 回転させてこれを第1のミラー112へ出射させる。

第2のファラデーローテータ322は、光位相変調器111を通過した光の偏光方向を -45° 回転させてこれを第2のミラー113へ出射させる。また、この第2のファラデーローテータ322は、第2のミラー113からの光の偏光方向を -45° 回転させてこれを光位相変調器111へ出射させる。

即ち、このリング型電気光学変調器10では、図15(a)に示すように垂直方向から 45° ずれた偏光成分(以下、 45° 偏光という。)の光が供給された場合に、これを第1のファラデーローテータ321により -45° 回転させてその偏光方向を垂直方向にする。この垂直方向の偏光成分からなる光は、そのまま光位相変調器111内を通過した後、第2のファラデーローテータ322によりその偏光方向が -45° 回転させられて垂直方向から -45° ずれた偏光成分(以下、 -45° 偏光という)となる。この -45° 偏光の光は、第2のミラー113より反射された後、再び第2のファラデーローテータ322よりその偏光方向が -45° 回転させられ、水平方向の偏光成分となる。この水平方向の偏光成分からなる光は、そのまま光位相変調器111内を通過した後、再び第1のファラデーローテータ321により偏光方向が -45° 回転させられて 45° 偏光となり、第1のミラー112を介して出射されることになる。

同様に、このリング型電気光学変調器10では、図15(b)に示すように -45° 偏光の光が供給された場合に、これを第1のファラデーローテータ321により -45° 回転させてその偏光方向を水平方向にする。この水平方向の偏光成分からなる光は、そのまま光位相変調器111内を通過した後、第2のファラデーローテータ322によりその偏光方向が -45° 回転させられて 45° 偏光となる。この 45° 偏光の光は、第2のミラー113より反射された後、再び第2のファラデーローテータ322よりその偏光方向が -45° 回転させられ、垂直方向の偏光成分となる。この垂直方向の偏光成分からなる光は、そのまま光位相変調器111内を通過した後、再び第1のファラデーローテ

ータ321により偏光方向が -45° 回転させられて -45° 偏光となり、第1のミラー112を介して出射されることになる。

ここで、図15には、次の表6に示す記号にて各偏光方向の偏光成分が示されている。

[表6]

偏光の説明			
45° 偏光	-45° 偏光	垂直方向の直線偏光	水平方向の直線偏光
⓪	⓪	⓪	⓪

このように、リング型電気光学変調器10では、光位相変調器111の前後にファラデーローテータ321, 322を配設することにより、当該光位相変調器111内に直交する二つの偏光成分のみを伝搬させることができる。この直交する二つの偏光成分における偏光方向は、光位相変調器111における伝搬方向に応じて互いに異なるが、それぞれ同一の伝搬経路、光学距離をとる。このため、直交する二つの偏光成分を有する各光に対して、光共振器110自体が縮退している事になる。かかる場合には、入射される光の偏光方向に支配されることなく、高効率な位相変調が可能となる。

さらに、本発明では、上述したリング型電気光学変調器10に限定されるものではなく、図16(a), (b)に示すように光共振器110内部に1/4波長板を設置したリング型電気光学変調器300に適用するようにしてもよい。

このリング型電気光学変調器300は、光位相変調器111と、光共振器110とを備え、更に第1のミラー312と光位相変調器111との間に配された1/4波長板331と、第2のミラー113と光位相変調器111との間に配された1/4波長板332とを備えている。

1/4波長板331, 332は、通過する光が垂直、水平方向の偏光成分を有する場合に、それぞれに対して $\pi/2$ の位相差を与えるものである。

即ち、このリング型電気光学変調器300では、右回りの円偏光(以下、右回り円偏光という。)の光が供給された場合に、これを1/4波長板331により垂直方向の直線偏光とする。この垂直方向の偏光成分からなる光は、そのまま光位相変調器111内

を通過した後、1/4波長板332により左回りの円偏光(以下、左回り円偏光という。)とされる。そして、この左回りの円偏光の光は、第2のミラー113より反射された後、1/4波長板322より水平方向の直線偏光とされ、そのまま光位相変調器111内を通過し、更に1/4波長板により再び右回り円偏光とされて第1のミラー112を介して出射されることになる。

また、このリング型電気光学変調器300では、左回り円偏光の光が供給された場合に、これを1/4波長板331により水平方向の直線偏光とする。この水平方向の偏光成分からなる光は、そのまま光位相変調器111内を通過した後、1/4波長板332により右回り円偏光とされる。そして、この右回りの円偏光の光は、第2のミラー113より反射された後、1/4波長板322より垂直方向の直線偏光とされ、そのまま光位相変調器111内を通過し、更に1/4波長板により再び左回り円偏光とされて第1のミラー112を介して出射されることになる。

ここで、図16には、次の表4に示す記号にて各偏光方向の偏光成分が示されている。

[表7]

偏光の説明			
45° 偏光	-45° 偏光	垂直方向の直線偏光	水平方向の直線偏光
①	②	③	④

このように、リング型電気光学変調器300では、光位相変調器111の前後に1/4波長板331, 332を配設することにより、当該光位相変調器111内に直交する二つの偏光成分のみを伝搬させることができる。この直交する二つの偏光成分における偏光方向は、光位相変調器111における伝搬方向に応じて互いに異なるが、それぞれ同一の伝搬経路、光学距離をとる。このため、直交する二つの偏光成分を有する各光に対して、光共振器110自体が縮退している事になる。かかる場合には、入射される光の偏光方向に支配されることなく、高効率な位相変調が可能となる。

特に、このリング型電気光学変調器10, 300を供給される光の偏光成分に応じて使い分けることにより、直線偏光の偏光方向や円偏光の向きの如何に関わらず、当該光位相変調器111内に直交する二つの偏光成分のみを伝搬させることができ、変調の高効率化を促進させることができる。

請求の範囲

- [1] 1. 所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、互いに平行な入射側反射鏡及び出射側反射鏡から構成され、入射側反射鏡を介して入射された光を往路方向又は復路方向へ伝搬させることにより共振させる共振手段と、上記入射側反射鏡と上記出射側反射鏡との間に配され、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記共振手段において共振された光の位相を変調し、上記入射された光の周波数を中心としたサイドバンドを上記変調信号の周波数の間隔で生成する光変調手段とを備え、上記光変調手段は、上記往路方向又は復路方向へ伝搬する各光の位相を変調し、上記光変調手段は、光を伝搬させる導波路であることを特徴とする光周波数コム発生器。
- [2] 2. 上記入射側反射鏡及び／又は上記出射側反射鏡は、上記光変調手段の入射側端面及び／又は出射側端面に形成された反射膜であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の光周波数コム発生器。
- [3] 3. 上記光変調手段と平行するように配され、上記発振手段から発振された変調信号を往路方向又は復路方向へ伝搬させるための電極を備え、上記光変調手段は、上記往路方向又は復路方向へ伝搬する各光の位相を上記電極を往路方向又は復路方向へ伝搬する変調信号に応じて変調することを特徴とする請求の範囲第1項記載の光周波数コム発生器。
- [4] 4. 上記電極の一端には、他端から供給された変調信号を反射させるための反射器、並びに当該反射された変調信号の位相を調整するための移相器が配設されてなることを特徴とする請求の範囲第3項記載の光周波数コム発生器。
- [5] 5. 上記移相器は、上記反射された変調信号の位相を上記電極の形状、上記変調信号の周波数、並びに上記導波路の群屈折率に応じて調整することを特徴とする請求の範囲第4項記載の光周波数コム発生器。
- [6] 6. 上記電極の一端は、他端から供給された変調信号を反射させるための切断点又は短絡点が設けられてなることを特徴とする請求の範囲第3項記載の光周波数コム発生器。
- [7] 7. 上記電極における切断点又は短絡点は、上記変調信号の周波数、反射時の位

相シフト並びに上記導波路の群屈折率に応じて調整されていることを特徴とする請求の範囲第6項記載の光周波数コム発生器。

- [8] 8. 所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、何れか一の端面を介して入射された光を往路方向又は復路方向へ伝搬させる光伝搬手段と、上記端面間に配され、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記伝搬する光の位相を変調する光変調手段とを備え、上記光変調手段は、上記往路方向又は復路方向へ伝搬する各光を変調することを特徴とする光変調器。
- [9] 9. 入射すべき光を偏光方向に応じて分離する分離手段と、上記分離された各光の偏光方向を同一方向へ制御する偏光制御手段と、所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、何れか一の端面を介して入射された光を往路方向又は復路方向へ伝搬させる光伝搬手段と、上記端面間に配され、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記伝搬する光の位相を変調する光変調手段とを備え、上記光変調手段は、上記往路方向又は復路方向へ伝搬する各光を変調することを特徴とする光変調器。
- [10] 10. 上記光伝搬手段は、上記入射された光を、結晶内部を全反射させつつ伝搬させることを特徴とする請求の範囲第9項記載の光変調器。
- [11] 11. 入射すべき光を偏光方向に応じて分離する分離手段と、上記分離された各光の偏光方向を同一方向へ制御する偏光制御手段と、所定の周波数の変調信号を発振する発振手段と、互いに平行な反射鏡から構成され、上記偏光制御手段から互いに異なる角度で何れか一の反射鏡を介して入射された光を往路方向又は復路方向へ伝搬させることにより共振させる共振手段と、上記発振手段から供給された上記変調信号に応じて上記共振手段において共振された光の位相を変調する光変調手段とを備えることを特徴とする光変調器。
- [12] 12. 上記光変調器における上記分離手段は、複屈折材料により構成されることを特徴とする請求の範囲第11項記載の光変調器。

[図1]

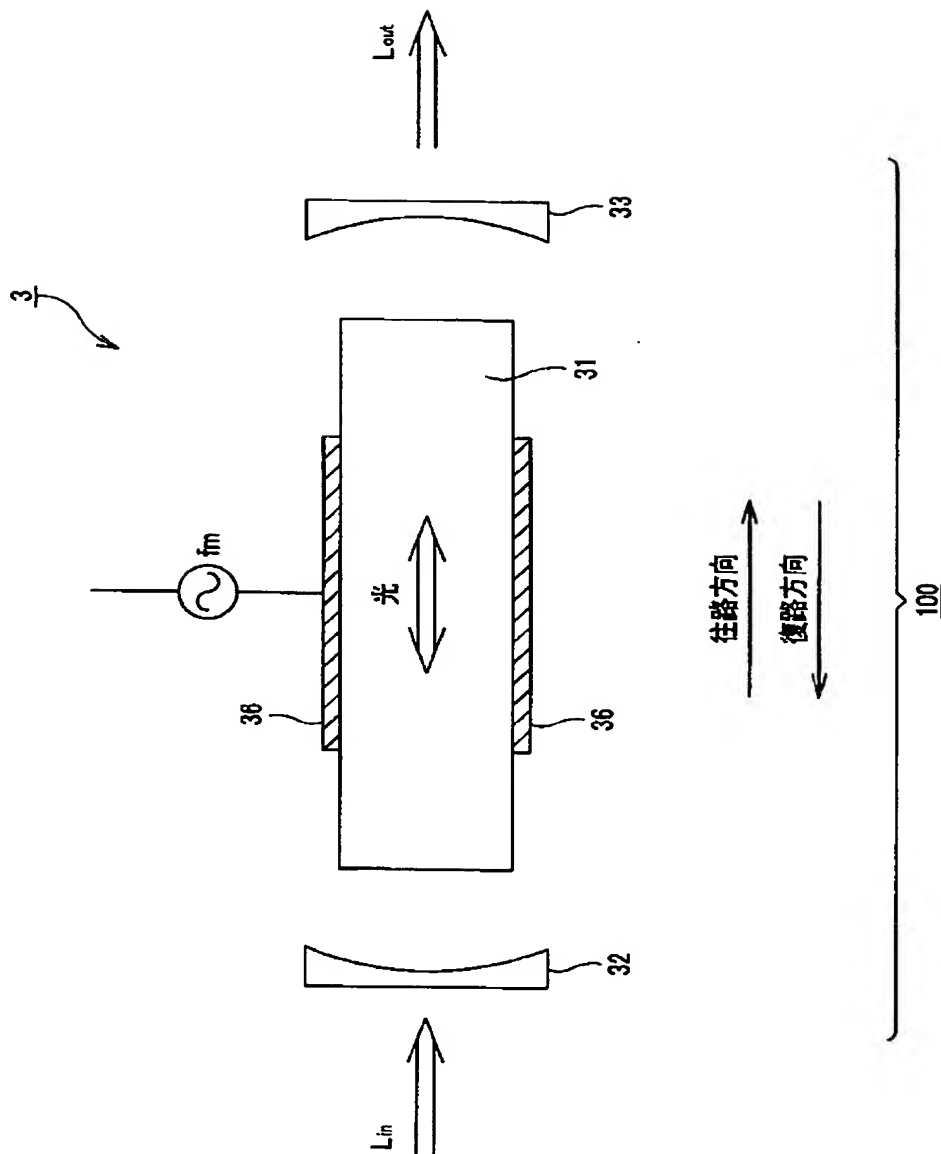


FIG.1

[図2]

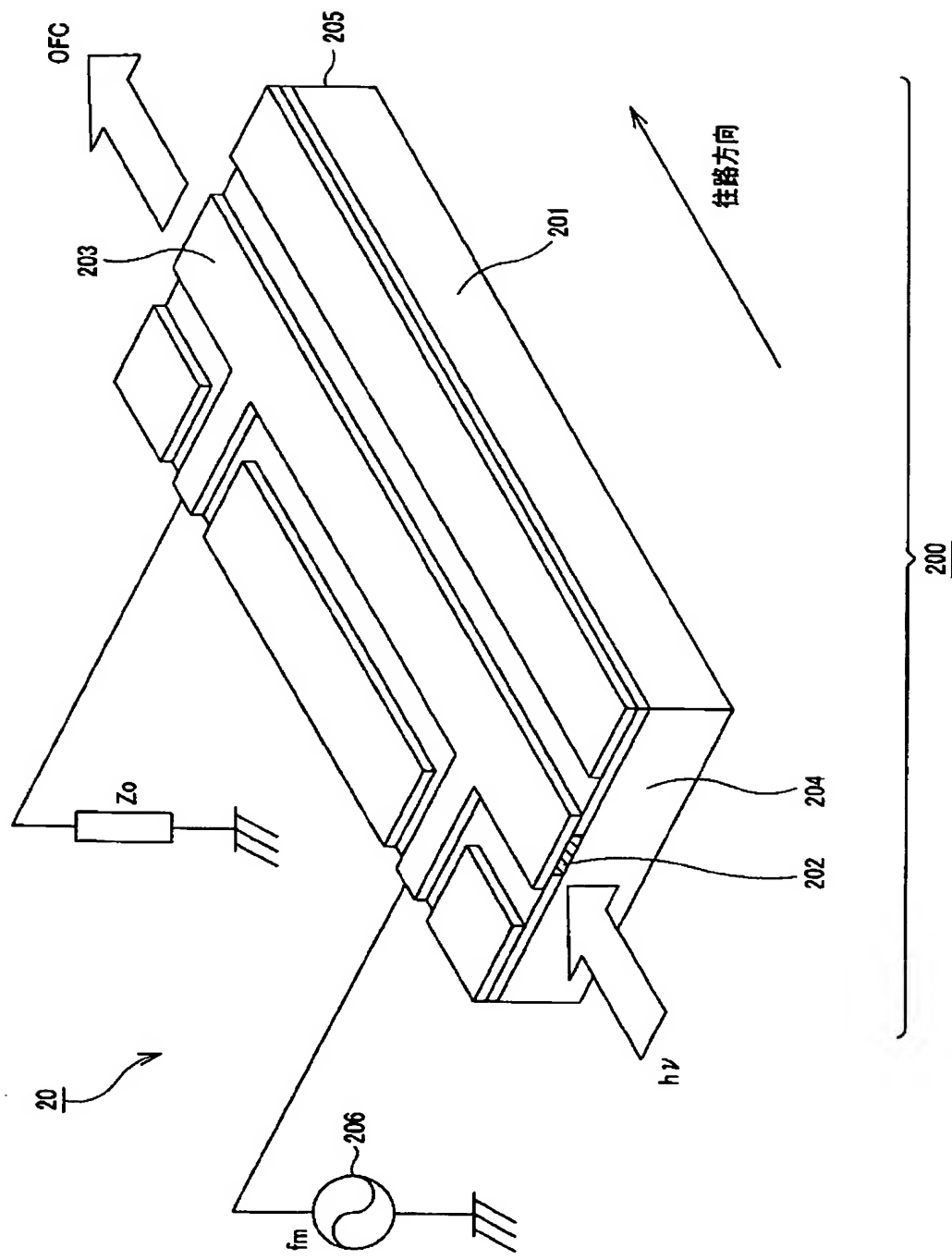


FIG.2

[図3]

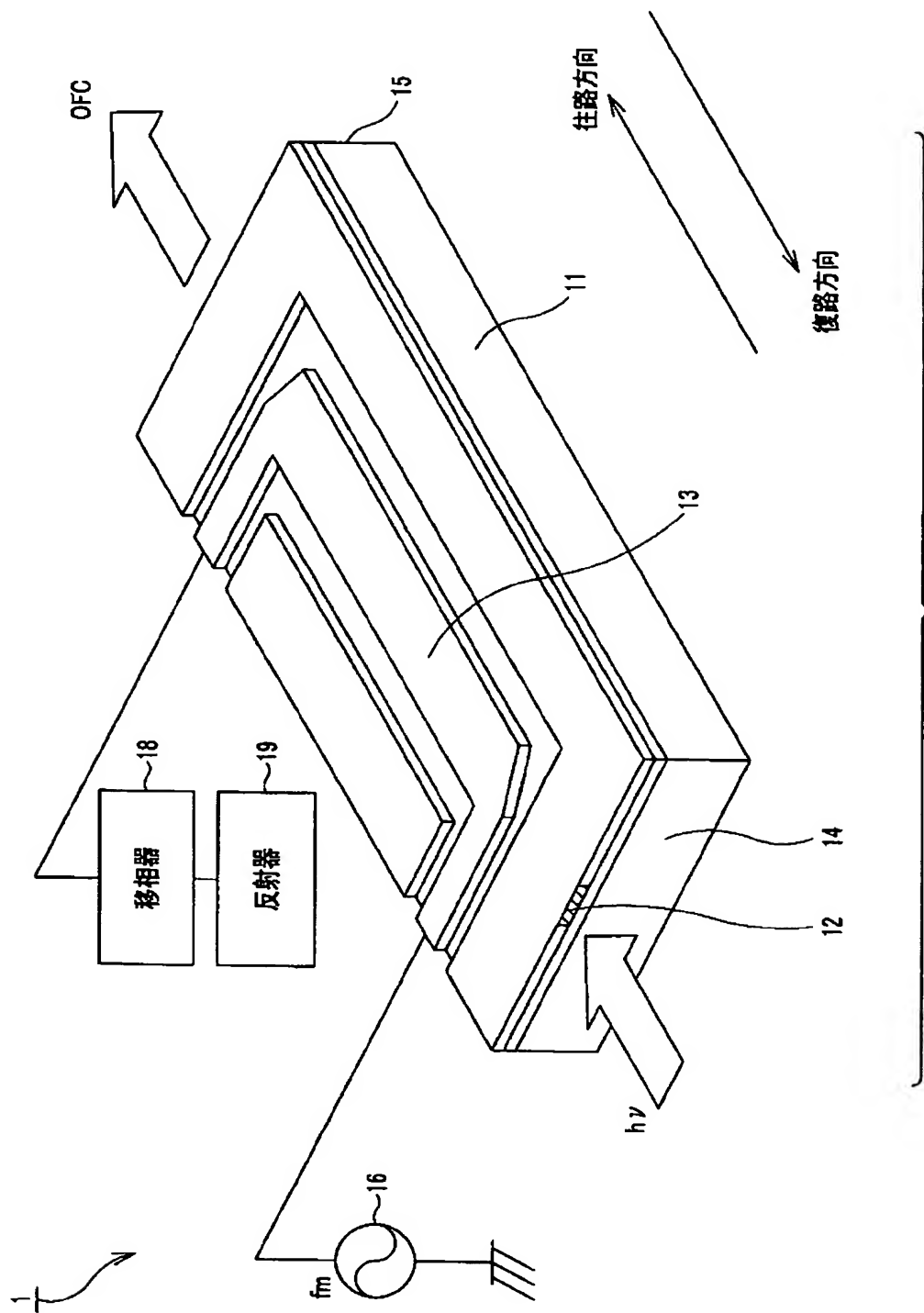


FIG. 3

[図4]

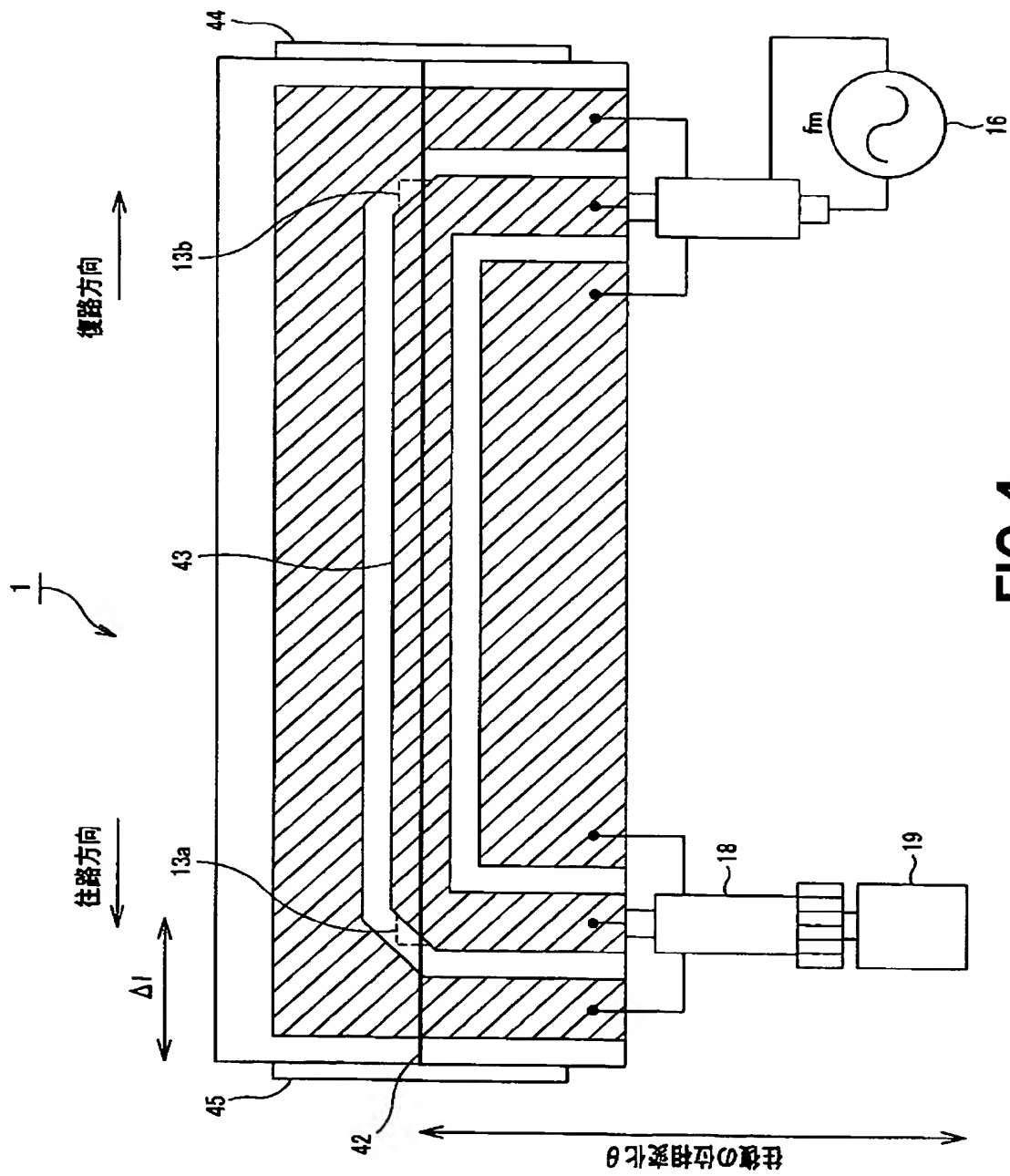


FIG.4

[図5]

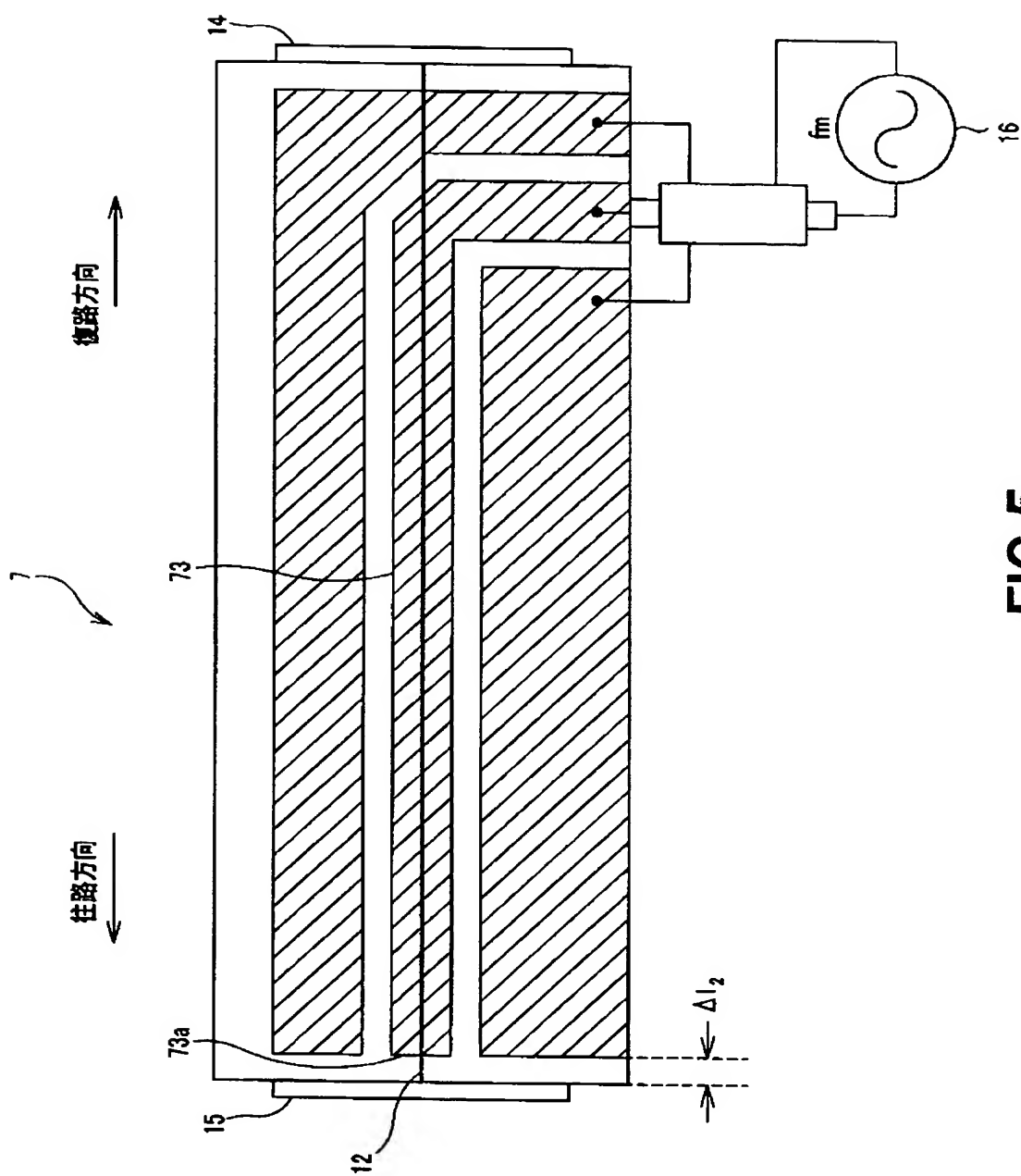


FIG.5

[図6]

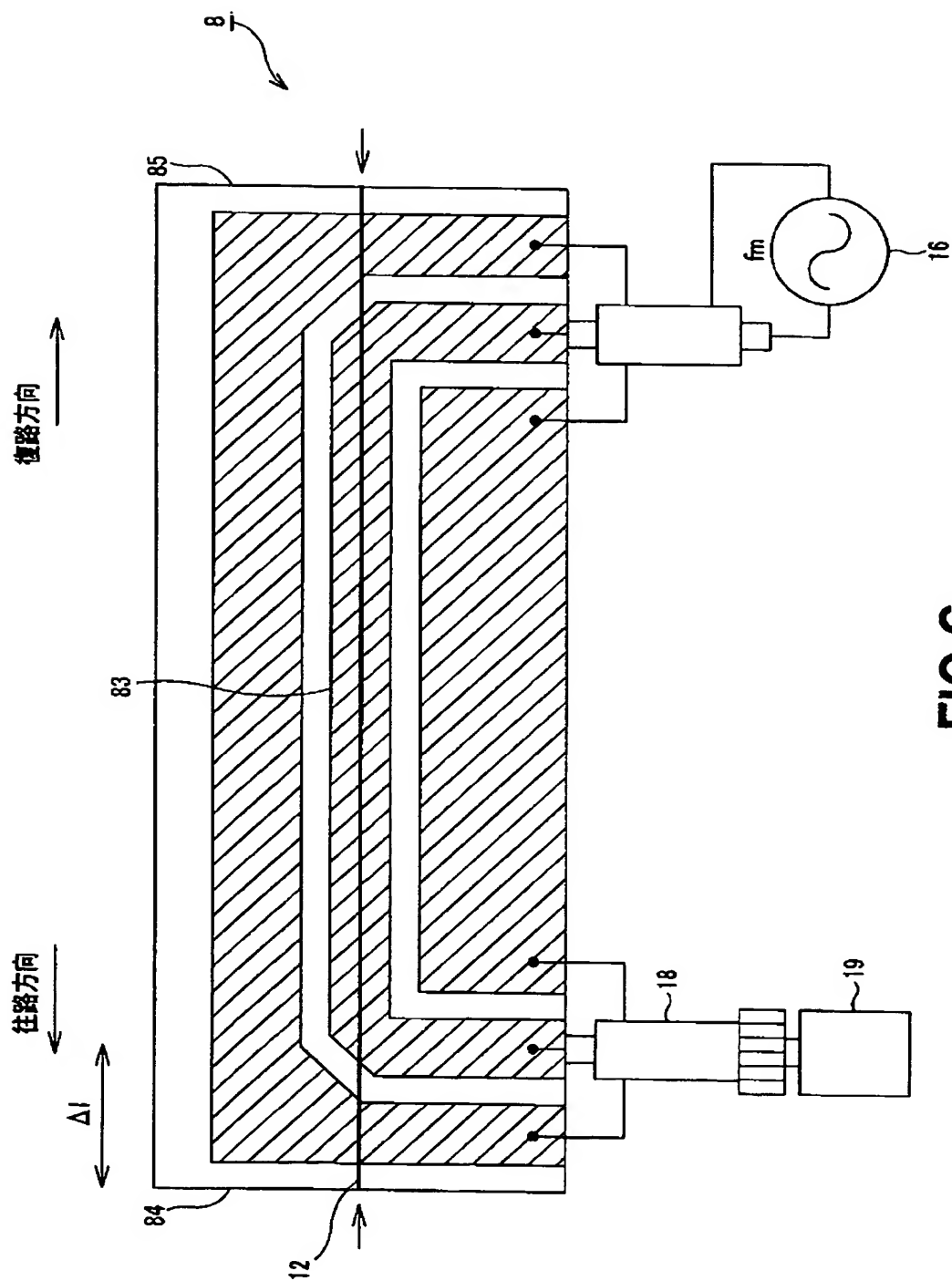


FIG.6

[図7]

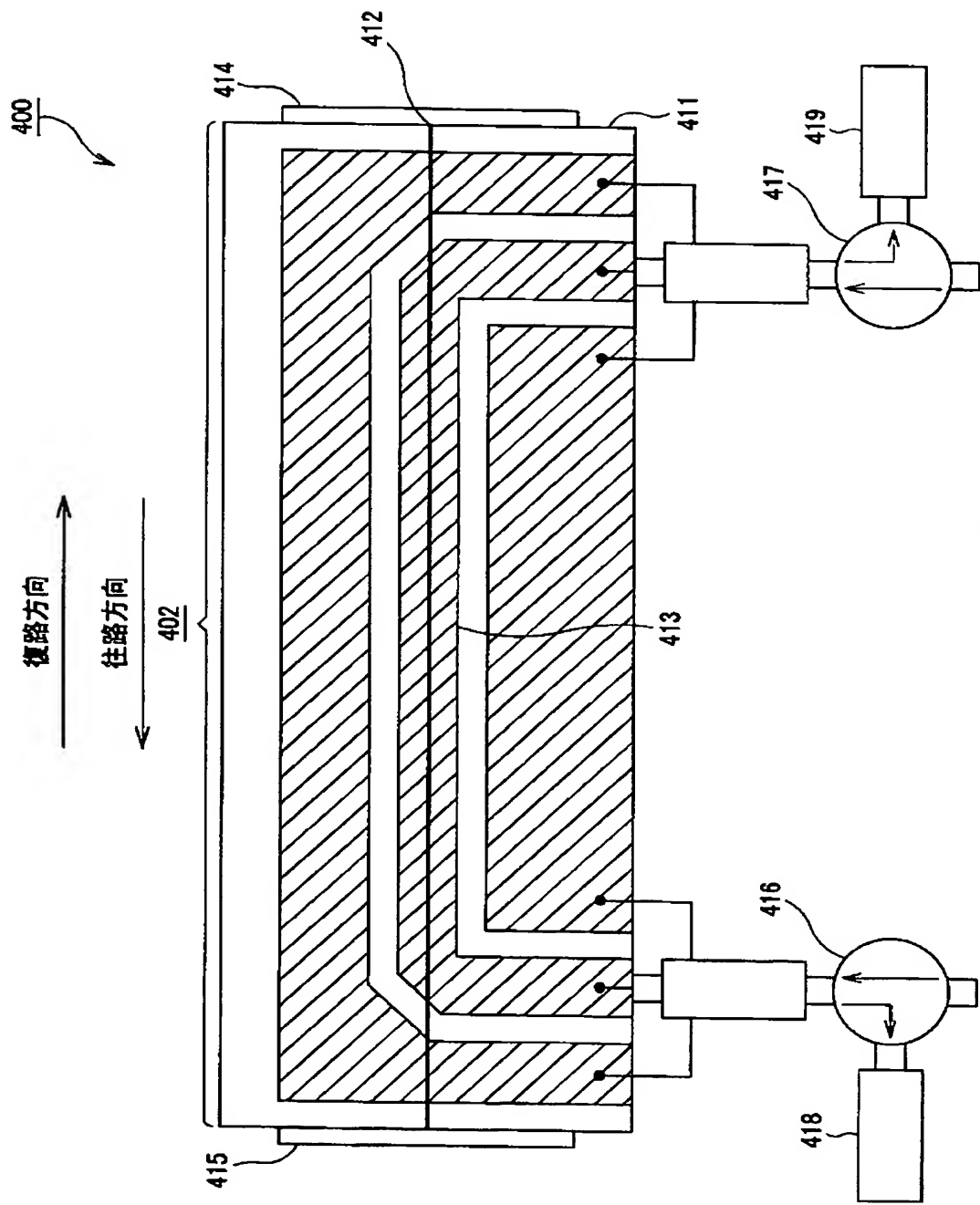


FIG.7

[図8]

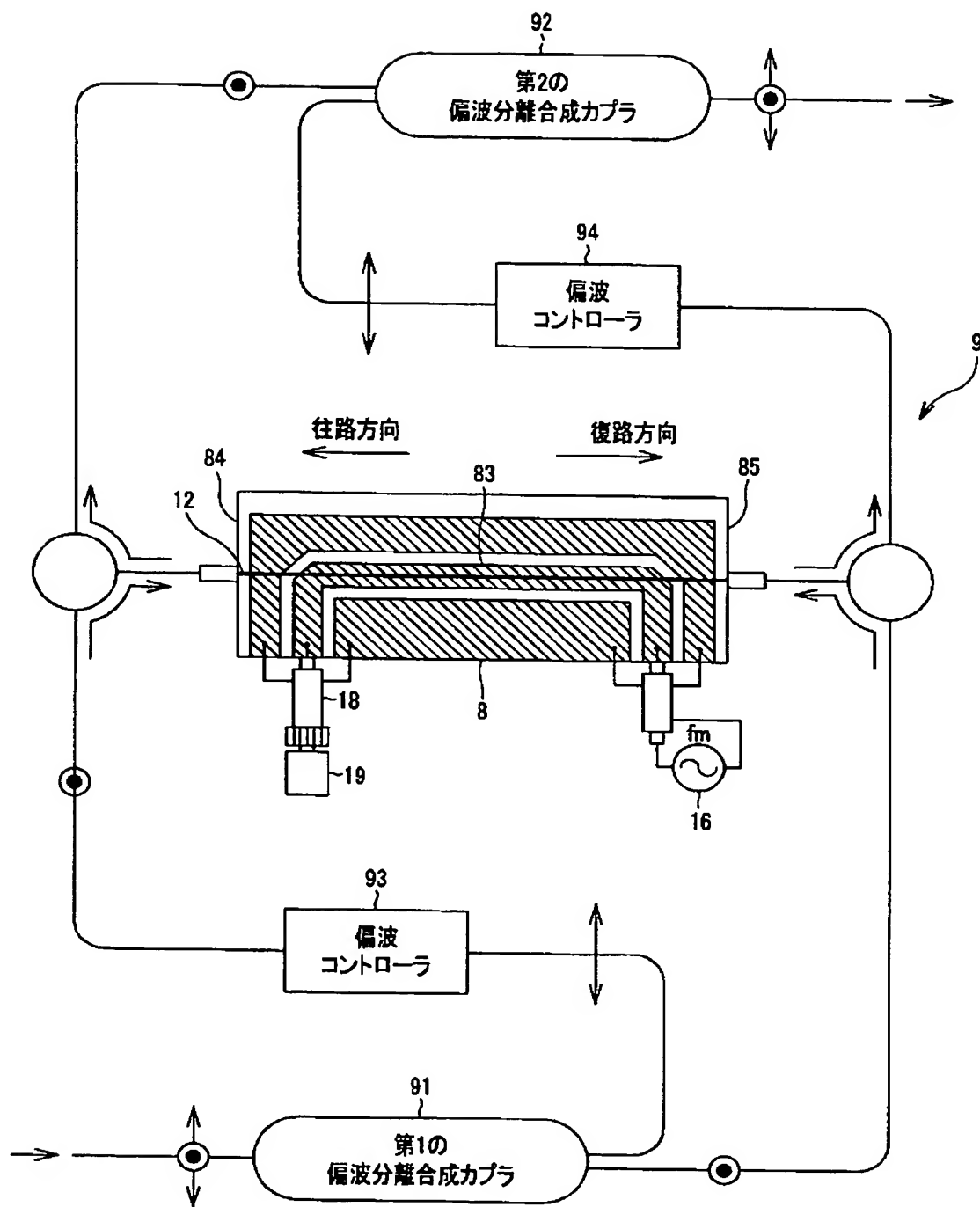


FIG.8

[図9]

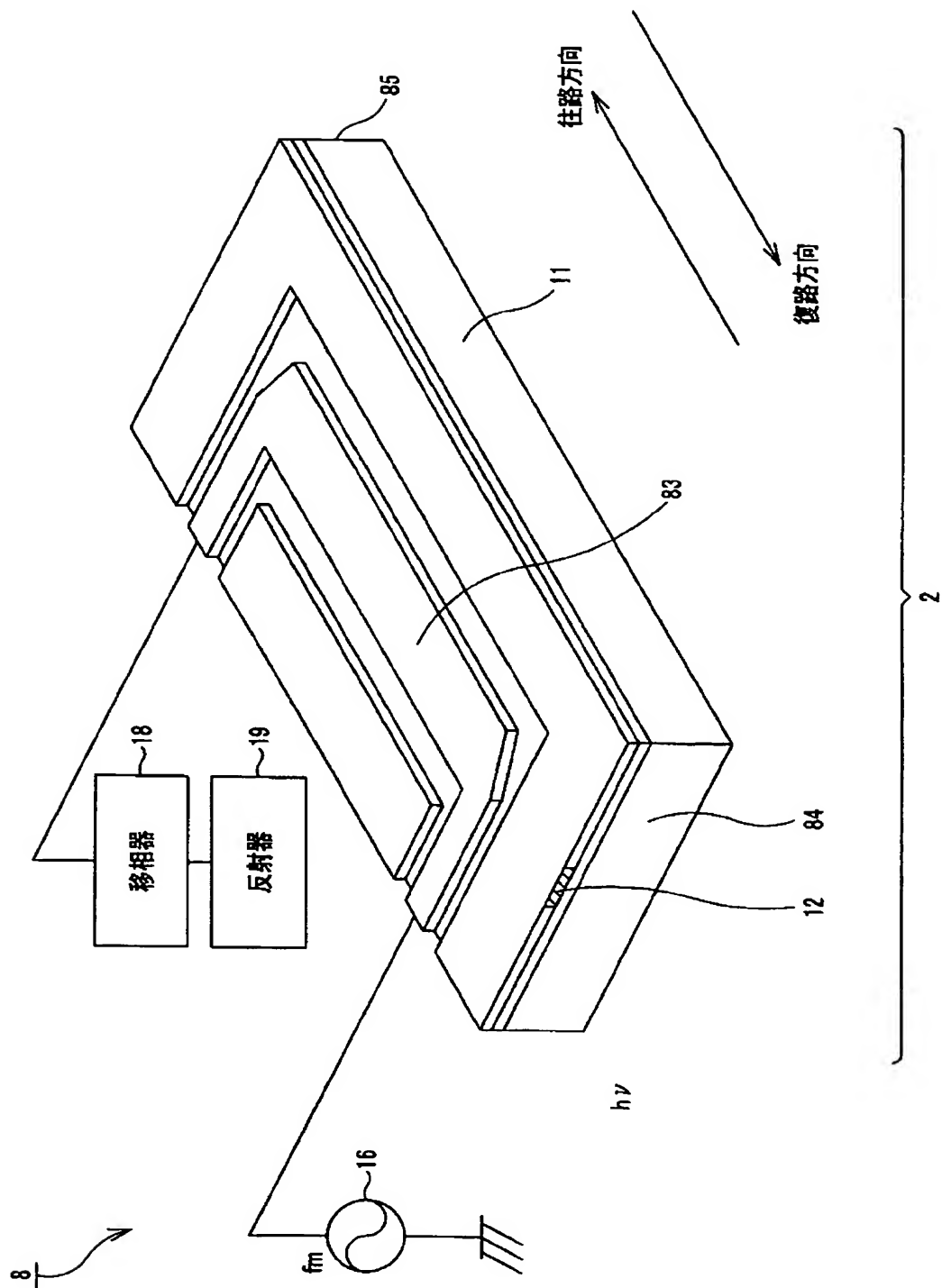


FIG.9

[図10]

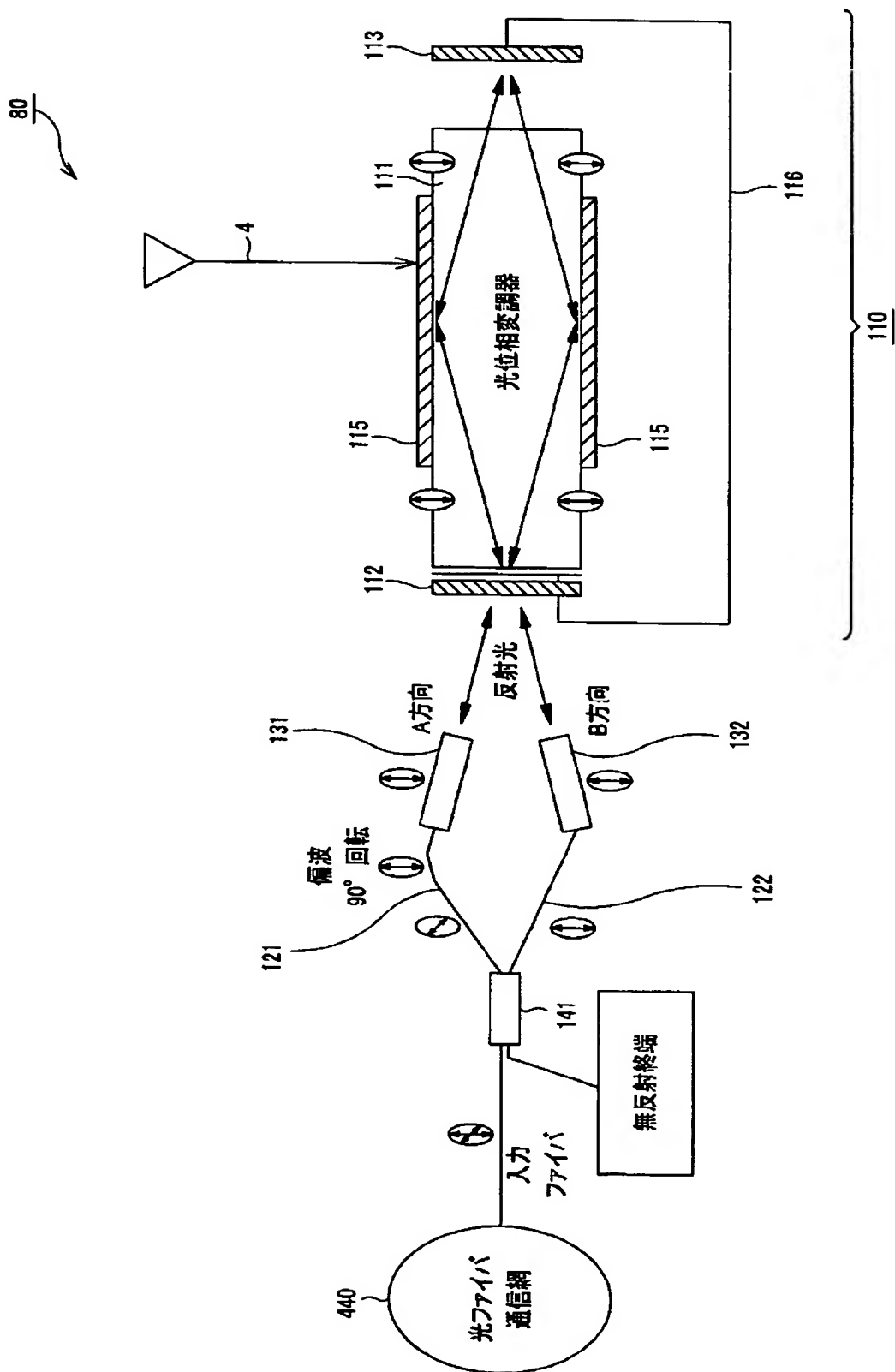


FIG.10

[図11]

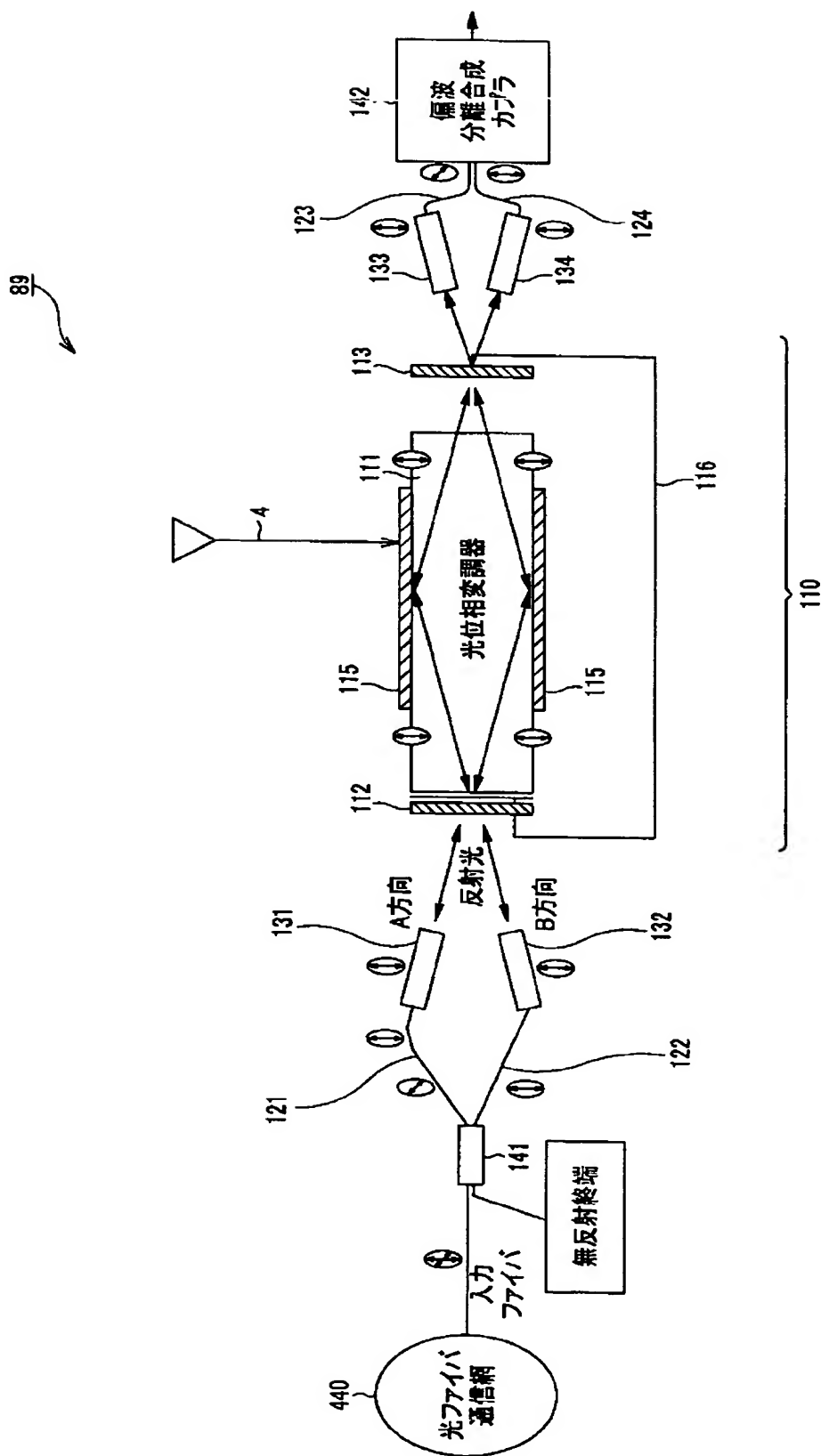


FIG.11

[図12]

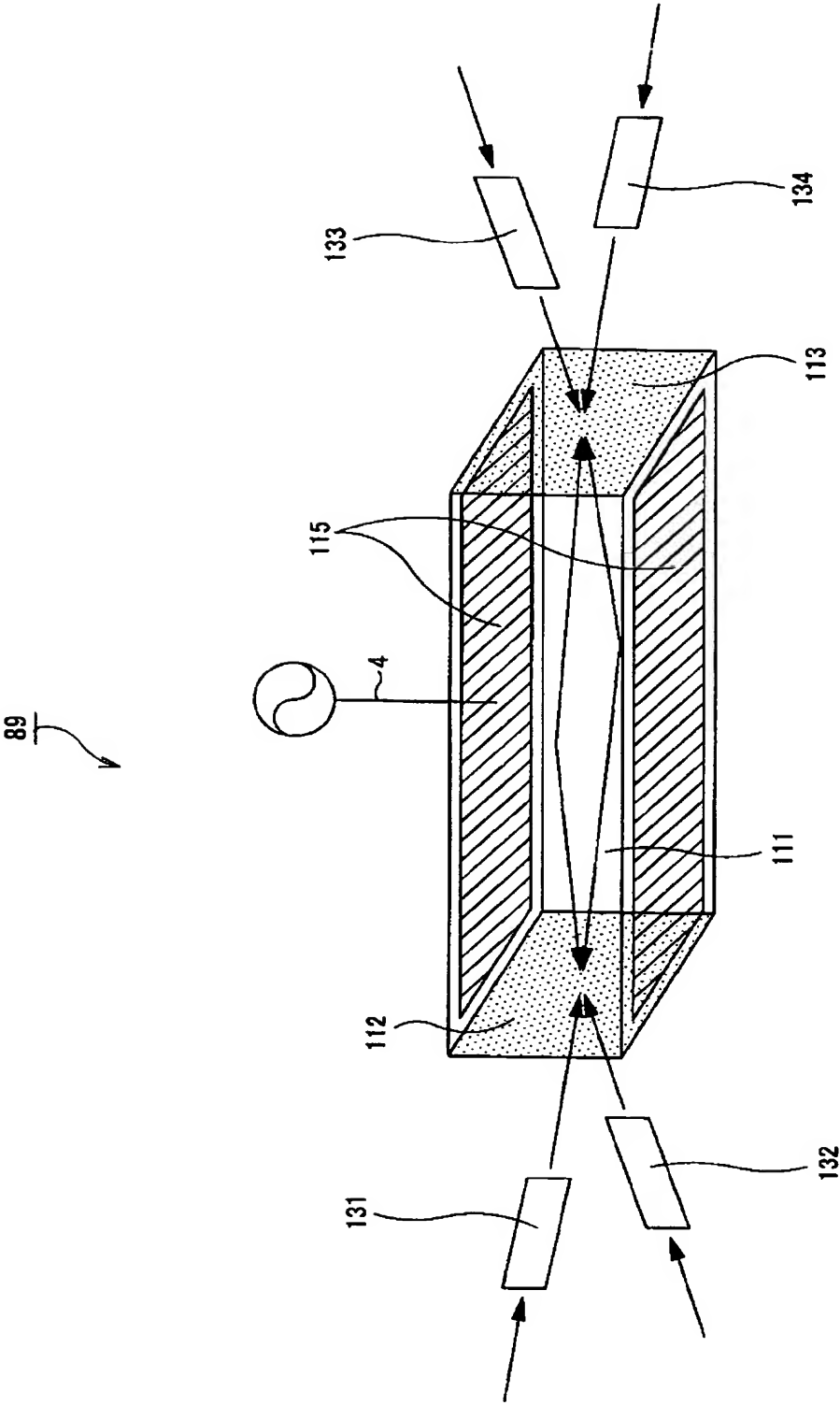


FIG.12

[図13]

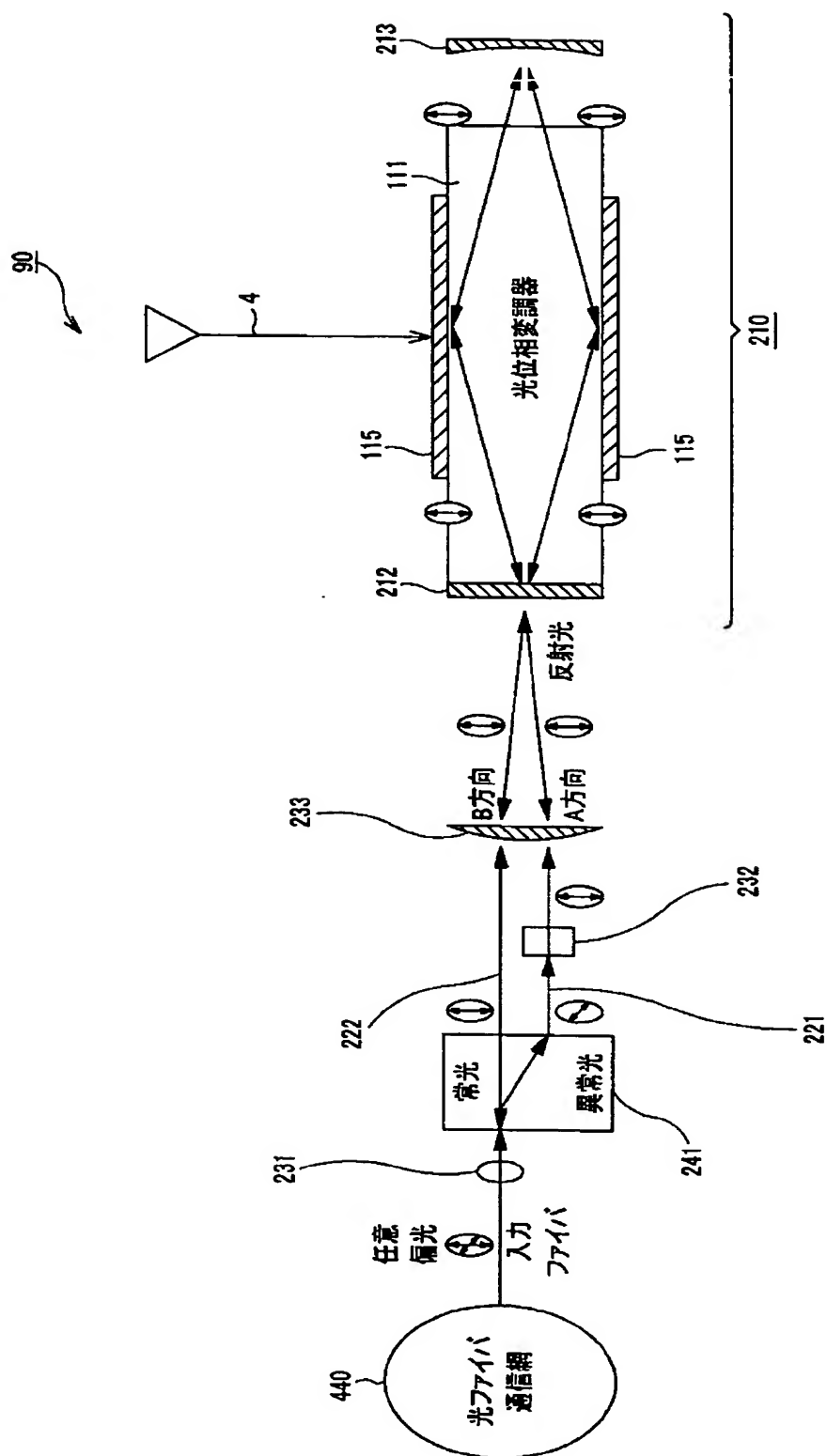


FIG.13

[図14]

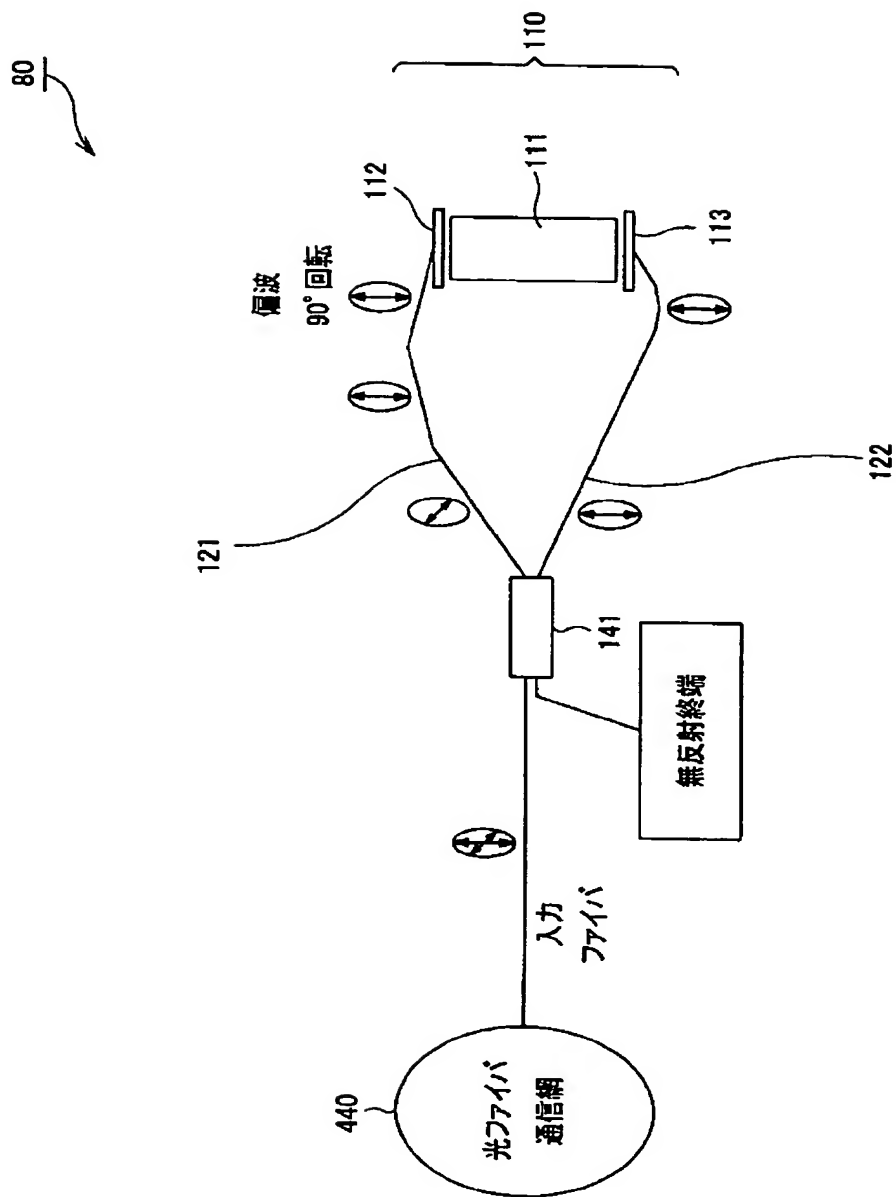


FIG.14

[図15]

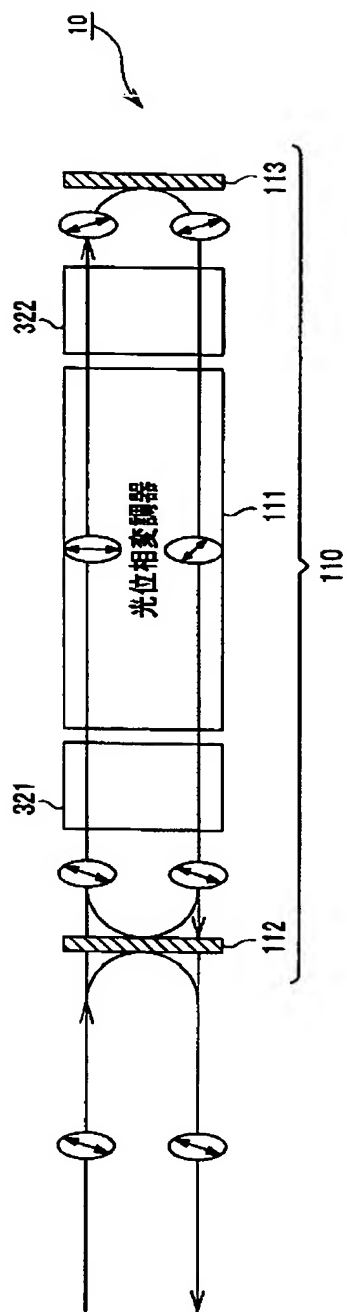


FIG.15A

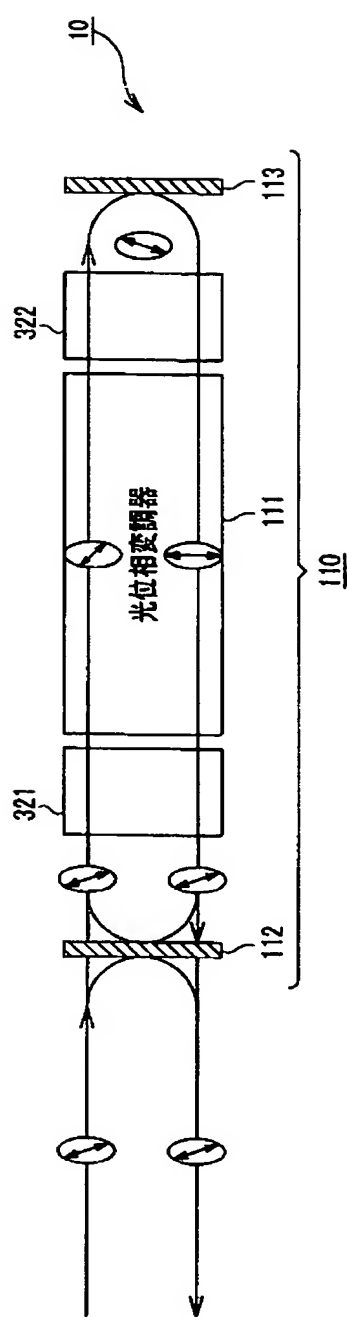


FIG.15B

[図16]

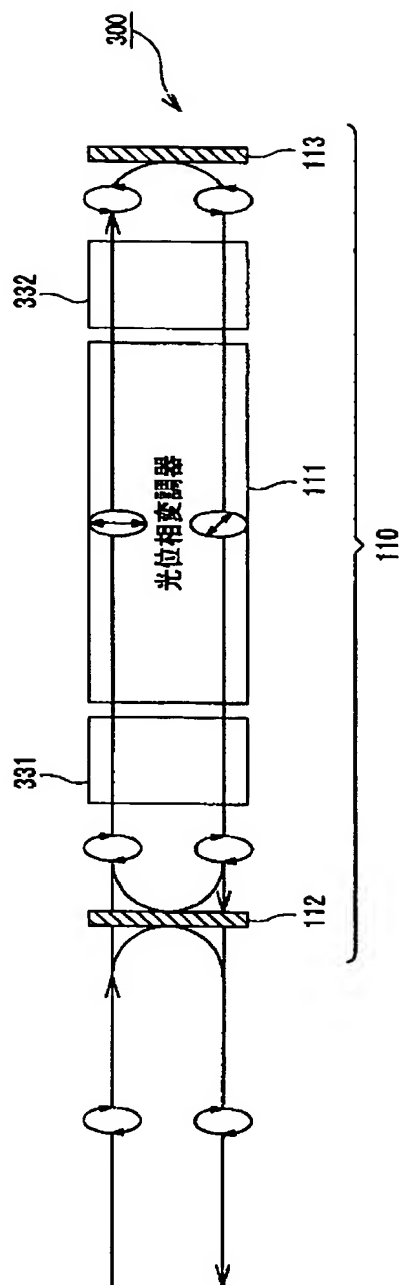


FIG. 16A

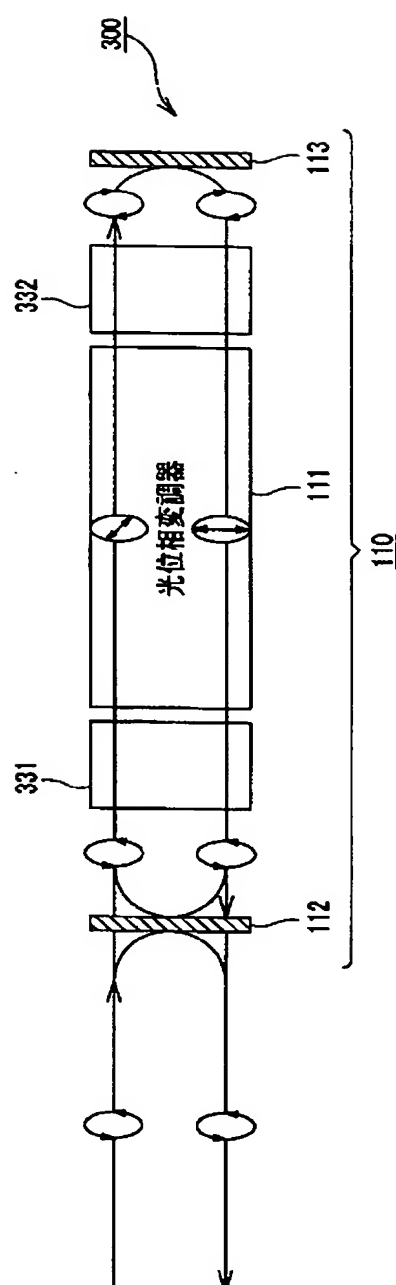


FIG. 16B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016325

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G02F1/03, G02F2/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G02F1/03, G02F2/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 8-166610 A (The Kanagawa Academy of Science, Takanori SAITO), 25 June, 1996 (25.06.96), Par Nos. [0008] to [0011] (Family: none)	1-3, 8 4-7, 9-12
Y	JP 11-183858 A (Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.), 09 July, 1999 (09.07.99), Par Nos. [0012], [0021] (Family: none)	4, 5
Y	JP 2003-228033 A (Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.), 15 August, 2003 (15.08.03), Par No. [0024]; Fig. 5 (Family: none)	6, 7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
01 February, 2005 (01.02.05)

Date of mailing of the international search report
22 February, 2005 (22.02.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016325

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 5-323265 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 07 December, 1993 (07.12.93), (Family: none)	9-12
Y	JP 7-159820 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 23 June, 1995 (23.06.95), (Family: none)	9-12
Y	JP 2002-156669 A (Mitsui Chemicals, Inc.), 31 May, 2002 (31.05.02), Fig. 3 & EP 1186942 A2 & US 1343906 A1	9-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016325

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

A matter common to the inventions in claims 1-12 is publicly known as disclosed in document JP 8-166610 A and the above common matter cannot be considered to be a technical feature that makes contribution over the prior art.

"A special technical feature" in claims 4-7 relates to "a frequency comb generator having a means for reflecting a modulation signal", and "a special technical feature" in claims 9-12 relates to "an optical modulator provided with a separation means for separating according to a polarization direction and a polarization control means for controlling the polarization directions of respective separated lights (continued to extra sheet)

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016325

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

to an identical direction". Theses inventions are not considered to be so linked as to form a single general inventive concept, since there is no technical relationship among those inventions involving one or more of the same or corresponding special technical features.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02F1/03, G02F2/02

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02F1/03, G02F2/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	J P 8-166610 A (財団法人神奈川科学技術アカデミー、 斎藤崇紀) 1996. 06. 25, 【0008】-【0011】 (ファミリーなし)	1-3, 8 4-7, 9- 12
Y	J P 11-183858 A (住友大阪セメント株式会社) 19 99. 07. 09, 【0012】、【0021】 (ファミリーな し)	4, 5
Y	J P 2003-228033 A (住友大阪セメント) 200 3. 08. 15, 【0024】、図5 (ファミリーなし)	6, 7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01. 02. 2005

国際調査報告の発送日

22. 2. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐藤 宙子

2 X

3 3 1 4

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 5-323265 A (日本電信電話株式会社) 1993. 1.2. 07, (ファミリーなし)	9-12
Y	J P 7-159820 A (日本電信電話株式会社) 1995. 06. 23, (ファミリーなし)	9-12
Y	J P 2002-156669 A (三井化学株式会社) 200 2. 05. 31, 図3&EP 1186942 A2 &US 1 343906 A1	9-12

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-12に係る発明の共通事項は文献JP 8-166610 Aに記載され公知であり、前記共通事項を先行技術に対して貢献する技術的特徴と認めることはできない。

請求の範囲4-7の「特別な技術的特徴」は「変調信号を反射させるための手段を有した周波数コム発生器」に関し、請求の範囲9-12の「特別な技術的特徴」は「偏光方向に応じて分離する分離手段と、上記分離された各光の偏光方向を同一方向へ制御する偏光制御手段を備えた光変調器」に関するものであると認められる。これらの発明は、一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係にないから、単一の一般的発明概念を形成するように連関しているものとは認められない。

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。